
FONDO PIZZOFALCONE



TRAITÉ

DE

TÉLÉGRAPHIE

ÉLECTRIQUE.

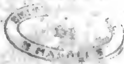
PARIS. — IMPRIMERIE DE L. MARTINET, RUE JACOB, 30.

TRAITÉ

DE

TÉLÉGRAPHIE

ÉLECTRIQUE,



RENFERMANT

SON HISTOIRE, SA THÉORIE ET LA DESCRIPTION DES APPAREILS,

AVEC

LES DEUX MÉMOIRES DE M. WHEATSTONE
SUR LA VITESSE ET LA DÉTERMINATION DES COURANTS DE L'ÉLECTRICITÉ,
ET UN MÉMOIRE INÉDIT D'AMPÈRE SUR LA THÉORIE ÉLCTRO-CHIMIQUE ;

PAR

M. L'ABBÉ MOIGNO,
Aumônier du lycée Descartes,
Auteur des Leçons du calcul différentiel et intégral,
Membre de l'Académie de Nancy, de la Société orientale, etc., etc.

Ouvrage dédié à M. FRANÇOIS ARAGO,

Et enrichi de quinze planches lithographiées et en taille douce.





PARIS.
A. FRANCK, LIBRAIRE-ÉDITEUR,
RUE RICHELIEU, 69.

1849.

DÉDICACE.



A M. FRANÇOIS ARAGO,

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences,
Directeur de l'Observatoire national,
Ex-membre du gouvernement provisoire et de la commission du pouvoir exécutif.

MONSIEUR,

Je vous aurais dédié déjà le premier volume de mon *Répertoire d'optique moderne*, si vous ne l'aviez en quelque sorte composé vous-même. Ce volume, en effet, n'est presque qu'une longue histoire de vos recherches profondes et de vos brillantes découvertes; depuis cette dissertation si originale sur la polarisation de la lumière et les anneaux colorés, imprimée en 1811 dans le troisième volume des célèbres *Mémoires d'Arcueil*, dissertation qui fonda votre réputation, et vous plaça au premier rang des physiciens; jusqu'à cet admirable instrument aujourd'hui enfin terminé, l'ISODOSTAT INTERFÉRENTIEL (1), chef-d'œuvre incomparable du genre, que le monde savant attend avec la plus vive impatience, et qui couronnerait glorieusement une des plus belles vies scientifiques des temps modernes, si vous n'étiez pas solennellement engagé à créer enfin de toutes pièces, par un effort encore plus gigantesque, la théorie et la pratique si ardues de la photométrie.

Amené plus tard à écrire l'histoire et la théorie de la plus cu-

(1) Isodostat, de trois mots grecs ἴσος, ὁδός, ἵστημι : *égalité*, *chemin*, *balancement*. Le but du nouvel instrument est en effet de ramener à l'égalite de chemins parcourus deux rayons de lumière dont la difference de marche avait déterminé le déplacement des franges d'interférence. On mesure ainsi ce déplacement, et par suite la cause physique, ou les variations de pression, de pouvoir réfringent, etc., etc., qui lui ont donné naissance et qui lui sont proportionnelles.

rieuse application des phénomènes de l'électricité et du plus étonnant des arts, LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE, combien vive a été ma joie quand j'ai vu que les deux faits qui dominent et vivifient cette branche nouvelle et déjà si vaste de la physique appliquée avaient été découverts par vous !

Rival heureux des Volta, des Œrsted, des Ampère, des Faraday, le premier en effet vous avez démontré par une expérience à jamais mémorable et complète les effets certains d'aimantation momentanée ou durable produits par le passage des courants électriques sur le fer doux ou l'acier. Le premier, vous avez remarqué la mystérieuse influence exercée par un disque en mouvement sur le barreau aimanté et l'hélice électro-dynamique ; or, cette observation neuve et imprévue renfermait comme dans un germe fécond la magnifique théorie de l'induction si savamment formulée par le génie de Faraday.

Aussitôt qu'il me fut donné de constater ainsi vos droits à une si grande part de gloire dans la réalisation de la télégraphie électrique, je résolus de vous dédier mon livre, et je ne saurais vous remercier assez de l'honneur que vous me faites en acceptant ma dédicace.

Un autre sentiment me dominait encore, je me suis efforcé d'apprendre de vous cet art inimitable d'exposition lucide que vous possédez au plus haut degré. Puissé-je avoir réussi ! Puissiez-vous m'avouer hautement pour un de vos plus fidèles élèves ! Je serai dans tous les cas et toujours le plus dévoué de vos admirateurs.

L'abbé F. MOIGNO.

Paris, 1er mai 1848.

AVANT-PROPOS.

Télégraphie électrique. — Ces deux mots ne réveilleront peut-être dans l'esprit de nos lecteurs qu'une idée commune, circonscrite dans des proportions ordinaires, et cependant ils ont une portée immense, et j'ose à peine aborder le champ si vaste qu'ils ouvrent à un progrès indéfini. La télégraphie électrique est le grand fait qui domine en ce moment le monde.

L'immortel Volta découvrit, en 1800, le courant électrique, et créa de la sorte une force nouvelle, une puissance jusque-là inconnue. OErsted mit en évidence les effets dynamiques de cet agent mystérieux, en constatant la déviation qu'il imprime à l'aiguille aimantée. Notre Arago la transforma et lui ouvrit comme des issues nouvelles, en révélant ses merveilleux effets d'aimantation permanente ou transitoire. M. Wheatstone prouva que les effets de cette force se transmettaient dans un instant indivisible à des distances incommensurables. Il fit plus : à l'aide de cette force indéfiniment multipliée par les procédés de Schweiger, et instantanément transmise, il apprit à mettre en jeu, dans un éloignement indéfini, toutes les autres forces de la nature, constantes ou passagères. Désormais, l'imagination la plus active essaierait vainement de prévoir et d'énumérer les résultats merveilleux et inattendus que la science et l'industrie réaliseront dans un avenir prochain. Les applications dont

j'ai à raconter l'histoire dépassent déjà toutes les prévisions et toutes les espérances humaines.

Voici d'abord ce que c'est que le télégraphe électrique, réduit à son dernier degré de simplicité. Une double bobine, recouverte d'un fil très fin, et dont la longueur est proportionnée à la distance que les dépêches doivent parcourir, armée d'un petit morceau de fer doux ou non trempé, se meut circulairement au-dessus d'un aimant permanent, et devient la source d'un courant électro-magnétique. Un cadran, placé sur cette bobine, porte les lettres ou les signaux conventionnels quelconques; l'opérateur amène avec le doigt, devant une pointe fixe, la lettre ou le signal qu'il veut montrer à distance. Aussitôt, et avec une vitesse qui ferait faire à un mobile trois fois le tour du monde dans une seconde, ce signe est reproduit sur les deux cadrans indicateurs de la station de départ et de la station d'arrivée, quelque distantes qu'elles soient. Voilà toute la manœuvre : un enfant, un ouvrier peu intelligent peuvent l'exécuter, et la dépêche, courte ou étendue, sera transmise dans un intervalle de temps que l'on peut comparer à celui qui serait nécessaire pour l'épeler ou l'écrire à la main en caractères un peu gros.

La télégraphie électrique est en Angleterre un fait déjà accompli; elle est réalisée sur toutes les grandes lignes de chemins de fer. Elle s'étend de Douvres à Édimbourg, et s'il plaît au gouvernement français elle s'élancera jusqu'à Paris.

De Londres à Édimbourg, il y a plus de 250 milles anglais; les dépêches télégraphiques parcourent d'un seul bond cette distance, nuit et jour, avec une rapidité et une régularité dont on ne peut pas même se faire une idée.

L'un des appareils de transmission est exclusivement réservé au gouvernement; les autres sont abandonnés au public. J'ai parcouru les registres des dépêches avec un vif sentiment d'admiration. Les résultats obtenus sont vraiment miraculeux.

Une illustre lady, restée malade à Portsmouth, demande à son banquier 200 liv. sterl.; moins d'un quart d'heure après l'expression de son désir, que le télégraphe avait porté à Londres, et qui a pénétré jusqu'au cœur de la cité, milady avait reçu la somme dont elle croyait avoir besoin. Un spéculateur hardi commande à son agent de change d'acheter mille actions d'un chemin de fer qu'il désigne. Quelques minutes après il apprend, transporté de joie, qu'il est propriétaire des mille actions, et qu'il peut les revendre avec un bénéfice énorme.

Le gouvernement anglais ne s'inquiète nullement de ces correspondances instantanées qui viennent donner une nouvelle vie au commerce et à l'industrie. Bien au contraire, il prend plaisir à les encourager et à les rendre plus faciles. Pourquoi faut-il qu'il n'en soit pas ainsi dans notre France, et qu'on se condamne à une défiance mesquine qui nous rapetisse tristement? J'ai lu à Londres, non sans rougir, l'acte par lequel le gouvernement français accorde à la Compagnie du chemin de fer de Versailles, rive droite, et de Saint-Germain, la concession longtemps sollicitée d'une ligne télégraphique. Il y est rigoureusement stipulé qu'on ne transmettra aucune dépêche étrangère aux besoins du service de la voie du chemin de fer; les correspondances commerciales, industrielles, et d'intérêt privé, sont absolument proscrites.

Le pouvoir n'a donc pas un ami sincère et éclairé qui ait assez d'influence pour l'arracher à cette voie funeste de routine misérable, de susceptibilité ombrageuse, d'horizon étroit et borné dans laquelle il se traîne péniblement et se compromet de plus en plus? Pourquoi ne pas accepter courageusement le progrès contre lequel vous essayez en vain de lutter? Pourquoi éterniser les répugnances et les antipathies en éternisant la défiance et la peur?

M. Quételet avait annoncé, dès 1840, que M. Wheatstone avait trouvé le moyen de transmettre les signaux entre l'Angleterre et la France, malgré l'obstacle de la mer. J'ai

vu de mes yeux, j'ai touché de mes mains le conducteur qui, en se reposant au fond des mers, unira étroitement les côtes d'Angleterre aux côtes de France. Ce conducteur est parfait, il remplira pleinement son but; tout homme sérieux qui l'aura vu et touché comme moi ne pourra pas même conserver l'ombre d'un doute sur un succès devenu palpable. Avant deux mois, des machines puissantes l'auraient produit dans toute sa longueur, mais partagé en section de deux kilomètres et demi. Huit jours suffiraient aux officiers de marine, qui s'y sont préparés par une étude approfondie, pour le mettre en place, et après quelques semaines Paris et Londres se toucheraient; il n'y aurait plus ni abîme, ni distance, le génie de l'homme aurait tout vaincu.

Oh! monsieur Arago, tendez à M. Wheatstone cette main amie qui le conduisit autrefois au fauteuil académique! Il est digne de vous, vous êtes digne de lui; il vous appelle, il vous attend; unissez-vous étroitement, et les choses incroyables que je viens de raconter se réaliseront immédiatement.

On rira peut-être de l'enthousiasme qui m'a comme transporté quand je décrivais les magnifiques inventions de M. Wheatstone; cet enthousiasme est cependant tout naturel, et tout le monde le partagera, quand j'aurai rappelé que le savant professeur de King's-College, en même temps qu'il transmet instantanément à une distance indéfinie des dépêches quelconques, peut, à cette même distance, mettre en action les forces les plus puissantes de la nature, des poids énormes et les ressorts les plus énergiques. Ainsi, par exemple, quand Paris sera lié à Londres par un conducteur électrique, un enfant, sans sortir de la capitale des Trois-Royaumes, pourra, par l'effort imperceptible d'un de ses doigts, faire retentir, sous les coups redoublés d'un lourd marteau, l'immense bourdon de Notre-Dame de Paris. L'imagination sera plus vivement émue encore quand j'aurai raconté, en quelques lignes, les étonnantes appli-

cations qu'on a déjà faites du principe de la télégraphie électrique.

Première application. — On dépose sur un point quelconque d'un vaste édifice une petite pile formée, par exemple, de plaques de cuivre et de zinc amalgamés, séparées par une couche de sable humide, pile dont l'action se continuera pendant des mois entiers, sans qu'on ait besoin d'y faire la plus petite attention. L'un des fils de cette pile aboutit à une sorte de clavier composé d'autant de touches que l'on veut mettre en mouvement de timbres sur les divers points de l'édifice dont il s'agit. De chacune de ces touches part un fil communiquant d'abord avec l'appareil qui doit faire résonner le timbre, puis se rendant de là au second pôle de la pile. Il suffira, dès lors, de frapper une touche quelconque pour agiter le timbre correspondant. On pourra faire sonner ainsi des cloches même très pesantes, sans qu'on ait besoin d'imprimer aucun mouvement au fil de communication. Ces fils, d'ailleurs, différents en cela des fils actuels, pourront être très fins; on ne sera pas forcé de les tendre; ils pourront suivre tous les détours imaginables; on sera dispensé d'employer aucun levier; la pile produira, sans bruit, la force nécessaire pour mettre en mouvement, avec une très grande économie, toutes les sonnettes du plus vaste établissement.

Deuxième application. — Ce n'était pas assez de télégraphier l'expression d'une pensée ou d'une volonté quelconque, on a voulu télégraphier le temps. Au moyen des plus ingénieux appareils, une seule et unique horloge peut indiquer l'heure, la minute, la seconde, en un nombre quelconque de lieux séparés par des distances aussi grandes que l'on voudra.

Dans un observatoire, par exemple, chaque salle, chaque cabinet, pourra être fourni d'un appareil très simple, d'un

prix très modique, qui ne se dérangera jamais, et qui cependant reproduira, à tous les instants du jour ou de la nuit, l'heure, la minute, la seconde donnée par le régulateur placé près de la lunette méridienne. Ces appareils battront ou sonneront même, si l'on veut, la seconde aussi régulièrement que l'excellente pendule astronomique avec laquelle on les a mis en relation à l'aide de courants électriques. On parera, de cette manière, à la nécessité d'avoir plusieurs horloges de grand prix, on diminuera les embarras qu'entraînent les allées et les venues, on échappera à l'obligation de régler séparément chaque horloge sur le mouvement des astres, etc., etc.

Quand on télégraphie des dépêches, la roue qui doit fermer et rompre le courant est mise en mouvement par le doigt de l'opérateur; quand il s'agit de télégraphier le temps, cette même roue tourne avec l'arbre de l'horloge ou les oscillations du pendule, voilà toute la différence.

Il est certain qu'on peut ainsi arriver facilement à montrer l'heure d'une première horloge donnée dans toutes les chambres d'une maison, dans toutes les maisons et sur toutes les places d'une ville. Qui de nous n'a gémi des différences énormes que présentent à toutes les stations des voitures publiques ces prétendus régulateurs qui ont tant coûté à la ville de Paris? Un temps viendra où l'horloge de l'Hôtel-de-Ville répétera mille fois, sur mille points séparés, son heure et sa minute régulatrice. Alors, suivant l'expression naïve d'un heureux témoin des expériences de M. Wheatstone, on aura conduit le temps à travers les rues de nos cités, comme on conduit maintenant l'eau et le gaz. Il fallait, du reste, que la Providence rendît possible cette régularité absolue, car les sociétés nouvelles, grâce aux chemins de fer, seront emportées avec tant de vitesse, que les heures ne seront plus que des minutes ou des secondes.

Troisième application. — Par le simple contact du mer-

cure avec un fil fin de platine placé dans le tube des instruments météorologiques, on peut apprécier, de demi-heure en demi-heure, la marche du baromètre, du thermomètre, du psychromètre, etc., avec plus de certitude que ne le pourrait l'observateur le plus exercé, et cela à quelque distance que l'on soit des instruments dont il s'agit, qu'ils aient été emportés dans l'espace par un ballon captif, ou qu'on les ait enfouis en terre.

Ici, vraiment, l'imagination s'effraie; les profondeurs de l'espace et de l'abîme sont devenues accessibles. Vous y déposez des instruments inertes, et l'espace et l'abîme se chargent de vous envoyer instantanément eux-mêmes les indications de pression atmosphérique, de température, d'humidité que vous avez désirées, et qui vous arrivent comme par enchantement dans votre laboratoire. Le fond du puits de Grenelle, par exemple, pourra vous faire connaître à volonté, et sans que vous ayez un pas à faire, la température, le volume et la vitesse de ses eaux. Dans quel monde de merveilles sommes-nous donc transportés? Naguère, c'était la lumière qui se faisait pour nous le plus étonnant des dessinateurs; aujourd'hui, c'est toute la nature entière qui vient se peindre sous nos yeux. Et remarquez qu'il n'est pas ici question d'une idée vague, d'un plan imaginaire. Le thermomètre-télégraphe est prêt; je l'ai vu de mes yeux, j'en donne la description dans ce volume. Il fonctionne depuis longtemps à l'observatoire de Richmond.

Je crains que personne ne veuille croire, alors même que je l'aurai décrit, à l'existence du thermomètre-télégraphe, au moyen duquel les hauteurs de l'espace et les profondeurs de l'abîme, devenues accessibles, nous révéleront leurs mystères de chaleur et de froid, de sécheresse et d'humidité. J'ai donc résolu d'insérer ici le document suivant: c'est un rapport adressé à l'Association britannique pour l'avancement des sciences, par la commission chargée de diriger les expériences que l'on devait entreprendre avec des ballons captifs.

« L'appareil destiné aux expériences est achevé. Le ballon, qui a 18 pieds anglais de diamètre, et 25 pieds de hauteur, a été reçu à Woolwich par le colonel Sabine. Le thermomètre-télégraphe de M. Wheatstone a été éprouvé ; il fonctionne de la manière la plus parfaite à la distance de plusieurs milles. Nous avons commandé l'addition d'un second mécanisme destiné à donner les indications barométriques. Nous avons fait une série d'expériences sur la force et le poids des cordages des différentes sortes de fibres ; nous avons arrêté la qualité qui convenait le mieux, et nous sommes heureux d'annoncer que M. Enderby, qui a pris le plus grand intérêt à ces recherches, veut faire cadeau à l'Association de la quantité de cordage nécessaire à nos expériences.

» Sur la somme de 250 liv. qui nous avait été allouée, nous avons dépensé 81 livr. 8 sch.

» Le directeur de l'usine à gaz de Woolwich a témoigné le plus grand désir de nous seconder, il a assisté à tous nos essais préliminaires ; grâce à ses soins, notre ballon a été aussi parfait que possible.

» Pour compléter les avantages déjà considérables de notre position à Woolwich, il est à désirer que l'Association adresse une requête au maître-général de l'ordonnance, pour lui demander son appui. »

Ce rapport est signé par l'illustre M. Robinson, le président de la commission.

Le thermo-baro-psychro-hygro-anemo-mètre électrique était donc non pas un rêve, mais un fait. Il n'en resta pas moins un mystère qui a longtemps fatigué mon esprit ; je n'avais pas pu deviner le mécanisme ingénieux de M. Wheatstone ; j'aurais bien plutôt conçu l'impossibilité du but qu'il voulait atteindre ; et ne puis résister au plaisir d'initier mes lecteurs par une description rapide à ce merveilleux progrès.

Le thermomètre-télégraphe que le ballon doit enlever dans les airs pèse, avec la boîte qui le contient, un peu plus de quatre livres. Il est ainsi construit : le mouvement d'une

petite horloge fait descendre et monter régulièrement en six minutes un engrenage vertical : cet engrenage porte un fil fin de platine, qui se meut dans le tube du thermomètre. L'étendue des excursions du fil correspond à vingt-huit divisions de l'échelle thermométrique; mais on peut l'ajuster de telle sorte qu'il puisse parcourir vingt-huit divisions quelconques de cette même échelle, de façon qu'en réalité il peut la parcourir tout entière. Deux fils fins de cuivre, recouverts de soie, et d'une longueur suffisante pour unir le ballon à la terre dans sa plus grande élévation, sont fixés à l'instrument de la manière suivante : l'extrémité de l'un des fils plonge dans le mercure du tube du thermomètre; l'extrémité de l'autre est en contact avec la roue de l'horloge, laquelle roue communique métalliquement avec le fil de platine. Les extrémités inférieures des deux fils sont sur le sol unies ensemble. On interpose sur le passage du fil, dont l'extrémité plonge dans le mercure du thermomètre, un galvanomètre sensible, et sur le passage du second fil une pile d'un seul élément à proportions très petites. Si l'on a disposé le galvanomètre de manière que l'aiguille marque le zéro, il conservera cette même disposition tant que le fil de platine ne sera pas en contact avec le mercure du tube; mais l'aiguille déviera aussitôt que le contact aura lieu, et restera déviée jusqu'à ce que ce contact soit de nouveau rompu par l'ascension de l'engrenage qui porte le fil. Pendant la demi-seconde de temps correspondant aux battements de l'horloge, le fil parcourt la 350e partie de son échelle, et par conséquent chaque point de l'échelle correspond à un battement différent, ou à une demi-seconde différente prise dans la série de trois minutes qui constitue le temps employé à parcourir l'échelle. Dès lors, si un observateur, muni à terre d'un chronomètre réglé de manière à suivre dans ses indications l'horloge emportée dans l'espace par le ballon, note l'instant précis auquel l'aiguille du galvanomètre a été déviée, il déduira immédiatement de cette observation la température

indiquée par le thermomètre du ballon ; car, suivant le degré différent d'expansion du mercure, c'est-à-dire suivant que la colonne de mercure sera plus ou moins haute, le contact du fil avec le mercure et, par conséquent, le courant s'établiront à une demi-seconde différente. Si les indications des deux chronomètres ne se correspondaient pas à la fin d'une série d'observations, les résultats obtenus ne seraient pas essentiellement défectueux ; il suffirait de leur faire subir une correction facile.

Il est arrêté qu'on ajoutera à cet appareil un thermomètre à boule toujours mouillée ou un psychromètre, un baromètre, un anémomètre, etc. ; cette addition exigera simplement qu'on munisse l'engrenage de plusieurs fils de platine, et qu'un même nombre de fils de cuivre, recouverts de soie, joignent le ballon à la terre, en renfermant dans le circuit un même galvanomètre.

Quand il s'agissait de transmettre à distance les indications des autres instruments télégraphiques, M. Wheatstone employait l'action d'un électro-aimant qui faisait sonner une cloche, imprimer un caractère ou écrire un pinceau ; mais l'électro-aimant ne peut produire ces effets qu'autant que le courant a quelque intensité, qu'autant par conséquent qu'il est transmis par un fil assez gros. On ne pouvait évidemment recourir à ce moyen, quand il s'agissait d'expériences à faire avec les ballons captifs, parce que le poids du fil aurait été un inconvénient grave ; et d'ailleurs, si la pile était forte, le contact du fil de platine avec le mercure donnerait naissance à une étincelle qui troublerait les observations. Il a donc fallu recourir aux déviations non moins tranchées de l'aiguille du galvanomètre.

Voilà comment, de six minutes en six minutes, on peut observer toutes les variations de pression, de température, d'humidité, etc., qui se produisent à une grande bauteur dans l'espace. Je vous dirais aussi facilement comment on pourrait apprécier à chaque instant la vitesse, la tempéra-

ture, et le volume des eaux au fond du puits artésien de Grenelle.

Quatrième application. — M. Wheatstone, et après lui MM. de Constantinoff et Bréguet, sont parvenus, en s'appuyant sur le principe de la télégraphie électrique, à mesurer la durée des mouvements qui se produisent dans un temps très court, la vitesse, par exemple, à tous les points de leur parcours, des projectiles lancés par les bouches à feu les plus puissantes, etc., etc. Comprenons-nous bien ce que c'est que de mesurer la vitesse d'un boulet et d'une bombe, sans les arrêter brusquement dans leur course, en les laissant fuir dans l'espace avec cette effrayante rapidité qui écrase notre imagination? Et n'est-il pas vrai qu'on s'efforcerait en vain d'apprécier la portée immense de procédés qui s'appliquent à la fois, et au projectile lancé dans l'espace par une explosion terrible, et au mercure qui monte sans bruit dans le tube d'un thermomètre; au calcul de la vitesse avec laquelle la balle a brûlé l'espace, et à la mesure du temps qu'un corps a employé pour tomber de la hauteur d'un pouce, etc.

Cinquième application. — M. Wheatstone a montré à Paris l'appareil par lequel il imprime à un certain nombre d'exemplaires les messages transmis. On ne pense donc pas, on ne parle pas seulement à des distances incommensurables et avec une vitesse en quelque sorte infinie; on fait plus, on imprime, et j'ai vu imprimer. Et dût-on rire de moi, je dirai que j'ai vu à Londres, chez M. Wheatstone, les dessins complets d'un nouvel instrument à l'aide duquel on pourra autographier soi-même, à une distance quelconque donnée, sa propre écriture. Tous les mouvements produits par la main, à Londres, par exemple, seront répétés fidèlement, régulièrement à Douvres ou à Paris; vous écrirez ainsi, vous dessinerez par l'intermédiaire du fluide électrique à 20, 30, 50, 100 lieues et plus.

Ces dernières lignes ont été écrites il y a quatre ans ; elles furent même imprimées alors dans *l'Époque* du 4 octobre, et je m'en réjouis grandement, parce qu'elles assurent à mon illustre ami, M. Wheatstone, la priorité d'une admirable découverte. La *Litterary Gazette* du 23 septembre dernier a inséré sous ce titre : THE COPYING TELEGRAPH, l'annonce suivante : « On a fait la semaine dernière l'essai du télégraphe électrique autographe, inventé par M. Bakewell, et qui a pour objet de transcrire à distance des copies d'une dépêche écrite, de telle sorte que le correspondant reconnaisse immédiatement l'écriture de celui qui lui adresse une nouvelle ou un ordre. Les expériences ont été faites sur l'embranchement du télégraphe électrique établi par la Compagnie générale entre Seymour-Street et Slough, et il s'agissait de savoir si le même courant si faible qui met en jeu le télégraphe à aiguilles pouvait suffire à la transmission autographe des dépêches. Nous apprenons que le résultat obtenu est des plus satisfaisants, et que des copies très lisibles de dépêches écrites à Londres ont été obtenues à Slough avec une rapidité de transmission double de celle qu'aurait donnée le télégraphe à aiguilles. On ajoute que M. Bakewel s'engage, avec l'aide d'un seul fil conducteur, à faire écrire 400 lettres par minute. En outre de cette rapidité excessive et phénoménale, le télégraphe autographe aura l'avantage immense de rendre comme impossible toute erreur dans la transmission d'une dépêche, et de donner une confiance beaucoup plus grande, puisqu'en reconnaissant l'écriture du correspondant on sera mieux assuré de la vérité de la nouvelle qu'il transmet ou de la volonté qu'il exprime. »

Sixième application. — Mais voici venir une application plus frappante encore, et surtout plus pratique. Je la trouve dans une note curieuse lue par M. Ball dans une des séances de l'Association britannique pour l'avancement des sciences réunie à Svansea en septembre dernier. Le temps, beau ou

mauvais, chaud ou froid, sec ou humide, dépend, dans un lieu donné, de certaines causes ou conditions physiques, de chaleur, de pression atmosphérique, d'humidité, de direction et de vitesse du vent, etc. Quelques unes de ces causes sont plus particulièrement locales, en ce sens qu'elles naissent et peuvent être immédiatement observées au lieu où l'on est. Les autres, au contraire, le vent, par exemple, avec sa direction et sa vitesse, naissent ailleurs à une certaine distance et ne viennent exercer leur influence sur l'état atmosphérique du lieu où est placé l'observateur, qu'après avoir parcouru une distance plus ou moins longue, avec une vitesse plus ou moins grande. L'influence des premières causes, pression atmosphérique, température, état du ciel, etc., est en général moins grande; elle peut dans tous les cas être appréciée et comme prédite d'avance par une série plus ou moins longue d'observations météorologiques faites dans le lieu dont il s'agit. Mais les secondes causes, qui sont nées ailleurs, et qui viennent après un temps plus ou moins long, exercer leur influence perturbatrice, avaient jusqu'ici pour caractère essentiel *l'imprévu*, de telle sorte que prédire le temps semblait une prétention ridicule, une tentative téméraire, une idée chimérique. En sera-t-il encore ainsi, maintenant que le télégraphe électrique fonctionne? Évidemment non. Admettons, en effet, qu'il s'agisse de Londres, et que chaque jour, ou deux fois par jour, nous y recevions par le télégraphe électrique les observations météorologiques des points les plus éloignés du royaume de la Grande-Bretagne, avec la pression barométrique, la température, le degré d'humidité, la direction, la vitesse et la force des vents. De fait, toutes ces indications, avec les moyens actuels et les communications établies par la Compagnie générale de télégraphie électrique, peuvent parvenir à Londres en moins de quatre heures des extrémités de l'Irlande, du centre de la France, des bords les plus reculés du Rhin, des frontières mêmes de la Hongrie et de la Pologne. Comme en général la vitesse des vents ne

dépasse pas vingt milles à l'heure, il résulte de la transmission comme instantanée du télégraphe électrique, qu'à Londres on saura assez longtemps à l'avance, qu'un vent né ou apparu dans l'une des régions dont nous venons de parler s'avance avec tel degré d'intensité, en parcourant tant de lieues à l'heure, et que l'on pourra annoncer jusqu'au moment exact de son arrivée. Et parce que, après avoir éliminé d'avance, par l'expérience d'un très grand nombre d'années et de longues séries d'observations, l'influence des causes locales, on sait réellement le temps qu'amène le vent dont nous parlons, on prédira ce temps avec une sorte d'infaillibilité. Le grand, l'immense problème des temps modernes, sera ainsi résolu, et la météorologie sera devenue une science pratique aussi sûre que l'astronomie dans ses indications prophétiques.

Déjà *l'Express*, journal du soir de Londres, avec l'aide de la Compagnie de télégraphie électrique, publie exactement chaque jour les observations météorologiques faites à un instant donné sur tous les points des trois royaumes unis. Les matériaux du magnifique travail proposé par M. Ball sont donc réunis, et il ne s'agit plus que de les mettre en œuvre.

A Munich, déjà, comme M. Lloyd l'a très bien fait remarquer, M. Lamont, avec les ressources trop bornées du télégraphe ordinaire, a réalisé une partie de ces merveilles. Une discussion facile des observations météorologiques qui lui arrivaient des différentes parties du royaume lui a permis d'annoncer vingt-quatre heures à l'avance des tempêtes ou d'autres perturbations atmosphériques.

Pauvre France, te voilà bien devancée !

Arrêtons-nous ! Plus encore par l'invention du télégraphe électrique que par l'emploi de la vapeur, l'homme est redevenu un géant; or, les divines Écritures et les traditions de tous les peuples nous racontent qu'il l'a déjà été dans les temps primitifs. Oui, il y eut autrefois une race de géants, et leur histoire, toute lamentable qu'elle est, pourrait, si nous

n'y prenions garde, redevenir la nôtre. L'enfant de Dieu, c'est-à-dire l'homme spirituel, trouva belles les filles de la terre, c'est-à-dire les créatures matérielles; un fol amour obscurcit tout à coup sa raison et déprava son cœur. L'esprit arriva donc tristement à s'identifier avec la matière. Cette union insensée et criminelle produisit les géants. Et en effet, quand le génie de l'homme concentre toute son activité et toute son énergie sur la matière, l'anime en quelque sorte de son souffle de vie, il devient comme créateur. Mais alors aussi, dans l'ivresse du triomphe, il se croit Dieu, et il n'élève plus ses regards vers le ciel, et il s'identifie de plus en plus avec la terre dont la masse finit en quelque sorte par l'absorber. Et bientôt commence une affreuse réaction : la matière, devenue reine, énerve et subjugue son roi. Asservi, abruti par les sens, l'esprit a perdu tout son élan, le progrès s'arrête, l'industrie languit, la barbarie recommence, et, pour renouveler la terre, il ne faut rien moins que l'exercice de la justice ou de la bonté infinie de Dieu.

REMARQUES ET RECTIFICATIONS.

J'espère que l'on voudra bien ne pas confondre cet ouvrage avec les diverses compilations anglaises et américaines qui ont eu la télégraphie électrique pour objet.

La pensée de ce traité et ses premiers délinéaments m'ont été suggérés et fournis par un excellent article de M. Boquillon, bibliothécaire du Conservatoire des arts et métiers, article que j'ai cependant combattu plus tard, avec trop de vivacité peut-être, parce qu'il était par trop hostile à M. Wheatstone, le véritable créateur de la télégraphie électrique.

J'ai mis à profit tout ce qui a été publié sur le magnifique sujet que j'avais à traiter, la longue apologie de M. Bain, rédigée par M. Finlaison, l'informe brochure de M. Vail sur le télégraphe électro-magnétique américain, si mal rédigée et plus mal traduite encore, les opuscules de M. Cooke, la notice de M. Fardely, habile ingénieur du grand duché de Bade; une foule de dissertations et de mémoires de MM. Wheatstone, Steinheil, Morse, Jacobi, Poggendorff, Karsten, etc., etc.

J'ai eu de plus l'avantage incomparable de pouvoir étudier sur place les applications de télégraphie électrique faites en Angleterre, en Belgique, en Hollande, et dans les principales villes de l'Allemagne. Je dois enfin à la bonne amitié de MM. Wheatstone et Steinheil et aux longues heures qu'il m'a été donné de passer près d'eux les renseignements les plus précieux.

Fruit de quatre années de recherches et d'un travail de rédaction trop souvent interrompu, ce volume, très complet d'ailleurs, manquera, je l'avoue, de cette unité d'ensemble qui est le caractère essentiel d'un ouvrage parfait, et que je ne pourrai lui donner qu'autant qu'il atteindra, comme je l'espère, une seconde édition. Il contient aussi quelques incorrections que je vais signaler rapidement.

1° J'ai eu tort de dire que M. Becquerel a posé le premier les principes de la pile à effet constant construite beaucoup plus tard par le célèbre Daniel. Au fond, il n'y a aucun rapport entre la pile de M. Becquerel, qui puise dans son excessive faiblesse la raison de sa durée, et la pile de Daniel constante par sa nature même, indépendamment de son intensité, et qui constitue éminemment une découverte tout à fait originale.

2° J'ai été trop sévère envers M. Morse dont les titres à la priorité d'invention de la télégraphie électrique sont évidemment suspects. Les instruments qu'il emploie actuellement, et que j'ai décrits, sont vraiment

excellents dans la pratique. M. Morse, d'ailleurs, a déployé dans l'accomplissement de la grande mission qui lui était confiée, une persévérance et une ardeur au-dessus de tout éloge.

3° Il m'a semblé que M. Bain faisait à M. Wheatstone, son maître, une guerre déloyale, et je l'ai traité aussi très durement. M. Bain cependant est un artiste fécond et ingénieux; il mérite d'être encouragé dans ses recherches; je me hâte donc de rétracter à l'avance toutes les expressions quelque peu blessantes qui me seraient échappées dans la vivacité de la discussion. Il n'y a d'ailleurs pas eu de compromis entre MM. Wheatstone et Bain, comme je l'affirme page 46.

4° Le récit que j'ai fait des travaux de la commission française de télégraphie électrique, de ses procédés peu délicats envers M. Wheatstone, de l'obstination de M. Foy, est trop accentué peut-être. J'ai dit trop crûment le déplaisir que m'avait causé l'oubli injuste et maladroit des droits du génie méconnu. Comme je n'avais, au fond, aucune intention de blesser mes honorables compatriotes, ils me pardonneront facilement ma vivacité.

5° Personne n'a plus de respect que moi pour M. Pouillet, l'un de nos plus savants physiciens, l'un de nos plus excellents professeurs; et cependant la seule lecture du paragraphe qui le concerne dans la table alphabétique des noms d'auteurs prouvera trop peut-être que j'ai été réduit à la triste nécessité de le combattre ou de le réfuter toutes les fois que son nom s'est trouvé sous ma plume. Je lui ai reproché (page 95) d'avoir été injuste envers M. Wheatstone, dont il semble même soupçonner la bonne foi; convaincu par des documents certains, j'ai repoussé son historique des célèbres lois de Ohm et ses droits à la priorité de leur découverte; j'ai nié la vérité de sa théorie de la conductibilité de la terre; j'ai osé enfin déclarer que le secret de la télégraphie électrique lui avait échappé, parce que les pages que l'illustre président de l'Institut a consacrées à cette belle application de la science de l'électricité, dans la dernière édition de son *Cours de physique*, sont certainement trop superficielles et trop incomplètes. L'excès de mon audace trouvera son excuse dans cet adage devenu vulgaire à force d'être répété :

Amicus Plato, magis amica veritas.

Si j'ai été trop loin, j'en demande humblement pardon.

6° Le rédacteur si consciencieux des *Annales allemandes de physique et de chimie*, M. Poggendorff, m'a assuré qu'il avait construit, bien longtemps avant M. Wheatstone, un rhéostat comparable au moins à celui du célèbre professeur de King's-College. J'ai manqué des indications nécessaires pour revendiquer les droits d'un savant aussi éclairé que modeste, et qui m'a inspiré une estime profonde, une affection sincère. Je comblerai cette lacune dans une seconde édition, qui verra aussi disparaître, je l'espère, d'autres imperfections que je m'empresserais de signaler, si elles ne sautaient pas aux yeux.

—

MÉMOIRE

SUR

LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE,

HISTORIQUE; DÉVELOPPEMENTS THÉORIQUES; DESCRIPTIONS;

DIVERSES APPLICATIONS REMARQUABLES DU PRINCIPE DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE;

Par M. l'abbé F. MOIGNO.

Extrait de la Revue scientifique et industrielle

IMPRIMERIE DE BOURGOGNE ET MARTINET, RUE JACOB, 30.

MÉMOIRE

SUR

LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

PARTIE HISTORIQUE.

PREMIÈRE SECTION.

Histoire de la télégraphie électrique.

L'idée d'employer l'électricité comme moyen télégraphique n'est pas nouvelle.

PREMIÈRE ÉPOQUE.

Lesage.

En 1774, dit-on, un savant d'origine française, Lesage, établit à Genève un télégraphe électrique composé de vingt-quatre fils métalliques, séparés les uns des autres et noyés dans une matière isolante. Chaque fil correspondait à un électromètre particulier, formé d'une petite balle de sureau suspendue à un fil. En mettant une machine électrique en communication avec tel ou tel de ces fils, la balle de l'électromètre qui y correspondait était repoussée, et le mouvement désignait la lettre de l'alphabet ou le signal conventionnel quelconque que l'on voulait transmettre.

Lomond.

Dans la relation du voyage qu'Arthur Young fit en France pendant l'année 1787, on trouve la description d'une expérience de télégraphie électrique faite par M. Lomoud, qui employait pour représenter différents signes les degrés de divergence de l'électromètre; voici le passage original, t. I, p. 212 : « M. Lomond a fait une découverte remarquable dans l'électricité. Vous écrivez deux ou trois mots sur du papier, il les prend avec lui dans une chambre, et

tourne une machine dans un étui cylindrique, au haut duquel est un électromètre avec une jolie petite balle de moelle de plume : un fil d'archal est joint à un pareil cylindre et électriseur dans un appartement éloigné; et sa femme, en remarquant les mouvements de la balle qui correspond, écrit les mots qu'ils indiquent, d'où il paraît qu'il a formé un alphabet du mouvement. Comme la longueur du fil d'archal ne fait aucune différence sur l'effet, on pourrait entretenir une correspondance de fort loin : par exemple, avec une ville assiégée, ou pour des objets beaucoup plus dignes d'attention ou mille fois plus innocents. »

Reiser.

Reiser, en Allemagne, proposa en 1794, dans le Magasin de Voigt, vol. IX, p. 1, d'éclairer à distance, au moyen d'une décharge électrique, les diverses lettres de l'alphabet, que l'on aurait découpées d'avance sur des carreaux de verre recouverts de bandes d'étain. L'étincelle électrique devait se transmettre par autant de fils renfermés dans des tubes de verre qu'il y avait de lettres.

Salva.

Voici cette fois un document authentique. On trouve dans la *Gazette de Madrid* du 25 novembre 1796 : « Le prince de la Paix, ayant appris que M. D. F. Salva avait lu à l'Académie des sciences un mémoire sur l'application de l'électricité à la télégraphie, et présenté en même temps un télégraphe électrique de son invention, a voulu l'examiner, et, charmé de la promptitude et de la facilité avec lesquelles il fonctionnait, il l'a fait voir au roi et à la cour; lui-même l'a fait fonctionner. A la suite de cette expérience, l'infant don Antonio a voulu faire un autre télégraphe plus complet, et s'est occupé de calculer quelle force d'électricité il faudrait pour se servir du télégraphe à diverses distances, soit sur terre, soit sur mer. Des expériences utiles ont eu lieu, nous en parlerons plus tard. » Le recueil périodique de Voigt faisait-il allusion à ces expériences quand il annonçait, deux ans après, que l'infant don Antonio avait fait construire un télégraphe réel sur une tres grande échelle et une très grande étendue? On ajoutait même que le jeune prince fut

nuitamment informé, au moyen de son télégraphe, d'une nouvelle qui l'intéressait vivement.

Cavallo.

Dans la quatrième édition de son *Traité de l'électricité*, publiée en 1795, vol. III, pag. 285, Cavallo proposa d'employer, pour transmettre un signal, l'inflammation de plusieurs substances combustibles ou détonantes, la poudre, le phosphore, l'hydrogène phosphoré, etc., et d'appeler l'attention du correspondant par l'explosion d'une bouteille de Leyde.

Betancourt.

En Espagne encore, vers 1787, Betancourt aurait tenté d'appliquer l'électricité à la production des signaux éloignés, en se servant de bouteilles de Leyde, dont il faisait passer la décharge dans des fils allant d'Aranjuez à Madrid.

Ronalds.

Mais les appareils de télégraphie par l'électricité statique les plus ingénieux et les plus complets furent inventés par un Anglais, Francis Ronalds. Ses expériences ont été publiées en 1823, dans un petit volume in-8°. On affirme qu'une des parties de son appareil consistait dans un disque mobile, portant des caractères qui venaient se présenter à volonté devant un petit guichet. La distance à laquelle les signaux étaient transmis par un fil métallique aurait été de huit milles anglais.

DEUXIÈME ÉPOQUE.

Tous les projets que nous venons d'énumérer, même ceux qui passèrent de l'état d'idée à la condition d'appareil d'essai, employaient comme agent l'électricité statique, ou de tension, développée par le frottement, dégagée par les machines électriques ordinaires, les bouteilles de Leyde ou des batteries : or, l'emploi d'un agent si inconstant, si capricieux, si inégal, si impuissant, si difficile à contenir, est réellement chimérique et impossible, au

moins sur une grande échelle. On n'essaierait pas sans déraison de le réaliser en dehors d'un cabinet de physique, sur une grande échelle. Les auteurs de ces projets ne peuvent donc pas être reconnus comme les inventeurs de la télégraphie électrique, devenue un instrument d'application réelle et facile, un appareil usuel.

En 1800, l'illustre Volta découvrit la nouvelle source, la nouvelle forme d'électricité qui porta d'abord son nom, et que l'on a désignée depuis sous le nom d'électricité dynamique. Cette électricité, qui se montre à nous sans tension, c'est-à-dire sans tendance à abandonner les conducteurs métalliques dans lesquels elle circule, se manifesta dès son origine par des phénomènes vraiment étonnants, de combustion, de lumière, de décomposition chimique, de commotions physiologiques, qui sont devenus le point de départ de presque tous les télégraphes électriques tentés jusqu'en 1820.

Sœmmerring.

Sœmmerring proposa en 1811, dans une des séances de l'Académie de Munich, un plan complet de télégraphe, fondé sur l'emploi comme moyen indicateur de la décomposition de l'eau par la pile. Voici la description abrégée de son appareil, qui fut une période remarquable dans l'histoire que nous esquissons.

Sur le fond d'un vase de verre reposant sur un pied, il fixa trente-cinq pointes d'or, que l'on désigna en partie par les vingt-cinq lettres de l'alphabet allemand, en partie par les dix chiffres de 0 à 9.

Chacune de ces trente-cinq pointes se prolongeait suivant un conducteur en cuivre, terminé par un petit cylindre en laiton ; au milieu du petit cylindre se trouvait une rainure destinée à recevoir un petit crochet, auquel pouvaient se fixer les fils qui devaient unir la pointe correspondante avec le pôle positif ou négatif de la pile.

Les trente-cinq cylindres étaient fixés, comme les pointes d'or du vase, sur un support particulier, de telle sorte que les deux extrémités de chacun des deux conducteurs correspondaient à la même lettre ou au même chiffre.

Si, maintenant, on mettait l'appareil disposé comme dans la figure jointe à ce mémoire, dans le circuit d'une pile électrique, on voyait aussitôt des bulles de gaz apparaître aux deux pointes qui

correspondent aux deux petits cylindres auxquels sont fixés les fils conducteurs de la pile. Ainsi tout étant disposé comme dans la figure, il se formait de l'hydrogène à la pointe K, et de l'oxigène à la pointe T.

Il est évident que l'on pouvait ainsi désigner à distance toute lettre qu'on voulait.

Il est à remarquer que l'on indiquait à la fois deux lettres; Sœmmerring admettait que l'hydrogène le plus abondant des deux gaz désignait la première, et l'oxigène la seconde. Quand on devait transmettre simultanément deux fois la même lettre, on avait recours au zéro. Ainsi le mot *nenni* se transmettrait *ne* — *n*0 — *ni*. Pour indiquer la fin d'un mot on recourait au chiffre 1, que l'on aurait pu remplacer par une croix.

Sœmmerring ne put déterminer dans ses expériences, trop peu importantes, la vitesse avec laquelle le fluide électrique se transmettait. Il rappela les expériences de Gray, Dufay, Le Monnier et Watson sur la vitesse de l'électricité développée par les machines ordinaires, desquelles il résultait seulement, suivant Watzon, que la vitesse de propagation de l'électricité est incomparablement plus grande que celle du son. Il s'assura par ses petits essais qu'une différence de 2,000 pieds dans la longueur du conducteur ne produisait pas un retard appréciable. Quand le courant avait traversé un conducteur de 2,248 pieds de longueur, la décomposition de l'eau commençait instantanément. Il serait très intéressant, ajoutait le physicien allemand, d'arriver à déterminer, à l'aide d'expériences faites sur une grande échelle, la vitesse d'un courant galvanique pour la comparer à la vitesse de la lumière.

Sœmmerring isolait les trente-cinq fils en les recouvrant de soie; il enduisait de vernis le faisceau qui résultait de leur ensemble. Le fluide électrique les traversait alors sans la moindre difficulté et sans aucun trouble. La pile employée était, comme la planche jointe à ce mémoire l'indiquera, la pile à colonne.

Les avantages du télégraphe électrique sont très bien énumérés dans le mémoire que nous analysons. Son emploi, disait Sœmmerring, n'est pas borné au jour, il s'étend à la nuit; il n'est arrêté ni par le brouillard ni par les nuages, de sorte qu'il rend cinquante fois au moins plus de services que le télégraphe ordinaire. Son ac-

tion peut s'étendre à des distances quelconques, sans stations intermédiaires; il peut fonctionner sans que personne s'en aperçoive; il n'est plus dès lors condamné à transmettre des caractères cryptographiques; il peut au contraire tout exprimer par lettres avec une rapidité et une économie de temps incalculables; il n'exige aucune construction particulière, et peut aboutir à telle chambre ou à tel cabinet qu'on voudra; les dépenses qu'il entraîne sont incomparablement plus petites.

Schweiger.

Sœmmerring avait oublié d'indiquer par quel procédé il réveillait l'attention du correspondant; Schweiger, dans son curieux appendice, rappelle d'abord qu'on atteindrait ce but par un pistolet de Volta qu'on ferait détoner au moyen d'une batterie ajoutée à la pile; mais ce serait évidemment rentrer dans toutes les difficultés de l'électricité de tension. Il ajoute qu'on diminuerait considérablement et avec un immense avantage le nombre des signes, si, au lieu d'une seule pile, l'on en employait deux, l'une beaucoup plus forte, l'autre plus faible, et qu'on fit agir tantôt l'une, tantôt l'autre, ou même les deux réunies. Si de plus, dit Schweiger, on fait entrer en considération le temps pendant lequel les gaz se dégagent, ainsi que les interruptions plus ou moins longues, et auxquelles succéderait l'action tantôt de la grande, tantôt de la petite pile, on pourrait certainement n'employer que deux fils au lieu des trente-cinq fils de Sœmmerring; ce qui centuplerait les avantages du télégraphe, en rendant les observations plus faciles et plus sûres, etc., etc. Schweiger entre ensuite dans quelques détails sur les méthodes à suivre pour établir les communications, et termine par des aperçus pleins d'intérêt sur la manière d'écrire les indications télégraphiques, au moyen de caractères que l'on presserait contre un papier blanc, recouvert d'un papier chargé de sanguine ou de noir de fumée. C'est précisément le mode employé plus tard par M. Wheatstone; mais il restait un pas immense à faire, c'était de créer à volonté et à distance la force qui devait presser le caractère.

Sœmmerring indiqua plus tard le moyen de faire sonner un réveil ou alarme en utilisant le dégagement des gaz.

Coxe.

Le professeur Coxe, de Philadelphie, exprima aussi en 1810, dans les *Annales de philosophie* de Thompson, l'idée d'appliquer la pile voltaïque à des communications télégraphiques, en déterminant par cet agent la décomposition de l'eau ou des sels métalliques à des distances plus ou moins éloignées de l'appareil. Mais l'action de la pile manifestée par des étincelles, ou la décomposition des substances chimiques, était au fond réellement inapplicable, d'autant plus que la pile à effet constant n'était pas inventée, et que les piles les plus énergiques perdaient alors en quelques heures presque toute leur intensité.

TROISIÈME ÉPOQUE.

En 1819, le célèbre Œrsted découvrit que l'aiguille d'une boussole placée au-dessus ou au-dessous d'un circuit voltaïque ayant la même direction, c'est-à-dire circulant du sud au nord, se déviait de sa position normale et tendait à se mettre en croix avec le courant. Il constata en outre cette particularité plus remarquable encore du phénomène : au-dessus de l'aiguille, le courant dévie le pôle austral à l'occident, quand il vient lui-même du sud au nord; et il le dévie à l'orient, quand il vient au contraire du nord au sud. Quand le courant passe au-dessous de l'aiguille, les effets sont précisément inverses, c'est-à-dire que le pôle austral est poussé à l'orient quand le courant va du sud au nord, et poussé à l'occident quand il vient du nord au sud. Pour exprimer d'une manière plus générale et plus précise à la fois le sens de la déviation, Ampère avait imaginé l'artifice suivant : il concevait qu'une petite figure d'homme était couchée le long du conducteur, les pieds du côté du pôle zinc, et la tête du côté du pôle cuivre, de telle manière que le courant allant du zinc au cuivre, entrât par les pieds et sortît par la tête ; il supposait de plus que la petite figure avait toujours la face tournée vers le milieu de l'aiguille sur laquelle agissait le courant : alors l'effet du courant est tel que l'aiguille, en se plaçant en croix, a toujours son pôle austral vers la gauche de la petite figure.

La force par laquelle le courant agit sur l'aiguille aimantée s'ap-

pela force électro magnétique. Peu de temps après la découverte d'Œrsted, Schweiger apprit à la rendre beaucoup plus sensible à l'aide d'un instrument qui tira son nom de sa propriété fondamentale, et qui est connu sous le nom de *multiplicateur*. Cet instrument, qui est d'une sensibilité merveilleuse pour mettre en évidence les moindres traces de l'électricité dynamique, repose sur ce fait, qu'un courant rentrant sur lui-même agit par toutes ses parties pour diriger dans le même sens une aiguille aimantée qu'il enveloppe de toutes parts. Un fil conducteur enroulé sur lui-même et formant cent tours doit, dès lors, quand il est traversé par le même courant, produire un effet cent fois plus grand qu'un fil d'un seul tour, pourvu toutefois que le fluide électrique parcoure toutes les circonvolutions du fil sans passer latéralement d'un contour à l'autre; c'est une condition facile à remplir. Pour faire donc un multiplicateur, on prend un fil d'argent ou de cuivre rouge plus ou moins long, d'un diamètre plus ou moins petit, et revêtu d'un fil de soie dont les tours sont très serrés; on l'enroule sur un petit cadre en bois ou en cuivre, à peu près comme du fil sur une bobine; seulement, on laisse libre une certaine longueur à chaque extrémité; c'est ce qu'on appelle *les deux fils du multiplicateur* : le courant doit entrer par l'un et sortir par l'autre; l'aiguille, qui doit être déviée, est suspendue sur un pivot ou à un fil de cocon.

Cette découverte si féconde du physicien danois, considérée sous le point de vue de la télégraphie électrique, était réellement un pas immense. Elle substituait à la manifestation pénible et obscure obtenue par la décomposition chimique un caractère aussi simple que saillant, la déviation des aiguilles; cette nouvelle indication était même multiple, puisque la déviation suivant la direction ou la position du courant par rapport à l'aiguille avait lieu dans un sens ou dans un autre. Le télégraphe de Sœmmerring pouvait par là se simplifier beaucoup. Fechner entrevit presque aussitôt cette possibilité, qui n'échappa pas non plus à notre illustre Ampère.

Ampère.

Voici comment ce savant s'en explique dans un mémoire présenté à l'Académie royale des sciences le 2 octobre 1820, *Annales de physique et de chimie*, t. XV, p. 72 ;

« On doit conclure de ces observations que les tensions électriques des extrémités de la pile ne sont pour rien dans les phénomènes dont nous nous occupons, car il n'y a certainement pas de tension dans le reste du circuit ; ce qui est encore confirmé par la possibilité de faire mouvoir l'aiguille aimantée à une grande distance de la pile, au moyen d'un conducteur très long dont le milieu se recourbe dans la direction du méridien magnétique, au-dessus et au-dessous de l'aiguille. Cette expérience m'a été indiquée par le savant illustre (Laplace) auquel les sciences physico-mathématiques doivent surtout les grands progrès qu'elles ont faits de nos jours : elle a parfaitement réussi.... D'après le succès de cette expérience, on pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres, et en plaçant chaque lettre sur une aiguille différente, établir, à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles, et qu'on ferait communiquer alternativement par ses deux extrémités à celles de chaque conducteur, former une sorte de télégraphe propre à écrire tous les détails qu'on pourrait transmettre à travers quelques obstacles que ce soit à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles. En établissant sur la pile un clavier dont les touches porteraient les mêmes lettres et établiraient la communication par leur abaissement, ce moyen de correspondance pourrait avoir lieu avec assez de facilité, et n'exigerait que le temps nécessaire pour toucher d'un côté et lire de l'autre chaque lettre. »

C'était évidemment l'idée de Sœmmerring modifiée, et M. Arago le fit observer lors de la lecture du mémoire.

Si l'on se rappelle que, par l'emploi de deux piles, les fils du télégraphe de Sœmmerring pouvaient, suivant la remarque de Schweiger, être réduits à deux, on en conclura que dès 1820 le télégraphe électrique eût été vraiment réalisable, si l'on avait pu parer dès lors à deux inconvénients très graves, l'action irrégulière des piles, et surtout la décroissance rapide de leur intensité.

L'ingénieux instrument de Schweiger fournissait donc le moyen de compenser la faiblesse de la pile ; mais, même avec le multiplicateur, la déviation de l'aiguille n'était que la simple manifestation du courant sans création de forces nouvelles. Or, dans ces conditions, le télégraphe électrique ne pouvait pas encore atteindre une utilité pratique : aussi ne fut-il réalisé qu'en petit.

Richtie et Alexander.

On a affirmé que Richtie construisit sur une petite échelle le télégraphe de Sœmmerring, modifié suivant les idées d'Ampère; il n'en est rien : seulement, dans une lecture qu'il fit à l'Institution royale, il donna quelques développements sur ce projet de télégraphie, en exprimant toutefois des doutes sérieux sur la possibilité de rendre la télégraphie électrique praticable. Ce télégraphe ne fut exécuté et montré en public qu'en 1837 par M. Alexander, d'Édimbourg. Il avait la forme d'une caisse renfermant trente fils de cuivre répondant aux vingt-six lettres de l'alphabet, à trois points, et à un astérisque destiné à dénoter la fin de chaque mot. A une de leurs extrémités, les fils étaient en communication avec des touches semblables à celles d'un forte-piano; au-dessous de chacune de ces touches se trouvaient deux lames, l'une de cuivre, l'autre de zinc, formant un couple voltaïque. Les fils, à leur autre extrémité, étaient en relation avec trente aiguilles magnétiques. Quand on frappait sur une des touches, le courant s'établissait, l'aiguille correspondante était déviée à droite ou à gauche, et découvrait, en déplaçant un écran, la lettre que l'on voulait indiquer. Dès que l'on retirait le doigt, le courant cessait, l'aiguille, en revenant à sa position, ramenait l'écran et recouvrait la lettre. Chaque lettre pouvait de cette manière être montrée à distance instantanément, et l'opérateur pouvait, à volonté, épeler tous les mots. Comme le courant exige un circuit fermé; en d'autres termes, comme le courant doit revenir à la pile qui lui a donné naissance, il semble que M. Alexander aurait dû employer nécessairement soixante fils; mais, par un mécanisme ingénieux, il obtint que tous les courants se fermeraient à l'aide d'un fil unique, ou que tous les retours à la pile se feraient par un même fil additionnel.

Tous ces essais ne pouvaient pas faire faire un pas à la télégraphie pratique; elle ne pouvait devenir possible qu'à la condition que la science de l'électricité dynamique ferait encore quelque grandes conquêtes : ces conquêtes ne se firent pas attendre.

QUATRIÈME ÉPOQUE.

Immédiatement après la brillante observation d'Œrsted, Am-

père découvrit que les courants galvaniques exerçaient l'un sur l'autre une action dynamique; que cette action était différente, suivant que les deux courants cheminaient dans le même sens ou en sens contraire; mais que, quelle que fût la direction des deux fils conducteurs, ils s'attiraient lorsque les deux courants s'approchaient à la fois ou s'éloignaient de la perpendiculaire commune aux directions rectilignes des deux fils, se repoussaient lorsque l'un des courants tendait vers la perpendiculaire, tandis que l'autre s'en éloignait. Il prouva plus tard qu'un fil de cuivre recouvert de soie, enroulé en hélice et parcouru par un courant, se comportait comme un courant : de telle sorte que ce petit appareil, qu'Ampère appelait un *solénoïde*, pouvait remplacer parfaitement une aiguille aimantée. Cette découverte si féconde n'ajouta rien à la télégraphie électrique, parce que l'emploi des aiguilles aimantées est plus facile que celui des solénoïdes.

M. Arago mit le premier en évidence, vers la même époque, les propriétés magnétisantes des courants électriques. Il vit d'abord que si l'on plongeait dans de la limaille de fer une portion du fil qui joint les deux pôles d'une pile, la limaille s'enroulait autour du fil et y restait adhérente tant que le courant passait; elle se détachait et tombait aussitôt que le circuit était rompu. Il vit encore que de petites aiguilles d'acier présentées au courant s'y attachaient en se mettant en croix avec lui, et conservaient leur magnétisme quand on les en séparait. Il était naturel de penser, d'après les premières expériences d'Ampère, que pour donner au courant toute son efficacité magnétisante, il fallait le faire passer transversalement autour des aiguilles, en plaçant ces dernières dans un tube de verre sur lequel un fil de métal s'enroulerait en hélice, ou plus simplement dans l'hélice formée par un fil de cuivre entouré de soie. C'est ce que firent MM. Arago et Ampère. Un seul instant suffisait pour aimanter les aiguilles complétement. La rapidité ou plutôt l'instantanéité avec laquelle le courant surmonte la force coercitive est un phénomène très remarquable. La position des pôles est déterminée par la direction des spires de l'hélice; or l'on distingue deux espèces d'hélice : l'hélice *dextrorsum*, dans laquelle le fil s'enroule vers la droite, et l'hélice *sinistrorsum*, dans laquelle il s'enroule vers la gauche. Dans l'hélice *dextrorsum*, le pôle boréal de l'aiguille est tou-

jours à l'extrémité par laquelle entre le courant, ou bien à l'extrémité positive du fil ; dans l'hélice *sinistrorsum*, au contraire, c'est le pôle austral de l'aiguille qui se trouve à l'extrémité positive. Lorsqu'on met à la suite l'une de l'autre plusieurs hélices de sens contraire, l'aiguille offre alors dans son magnétisme un point conséquent ou neutre, à la jonction des deux hélices : ainsi chacune d'elles agit encore comme si elle était seule. Quand l'aiguille placée dans l'hélice est d'acier, son aimantation persiste, elle devient réellement une aiguille aimantée ordinaire. Elle n'aurait été aimantée que temporairement si elle avait été en fer, son aimantation aurait cessé immédiatement avec la rupture du courant.

Le fait de l'aimantation au moyen de la pile était plus important encore et plus riche d'avenir que le fait de déviation observé par Œrsted. Joint au principe du multiplicateur de Schweiger, il fournissait le moyen de transformer le fer doux en aimants d'une très grande puissance, aimants d'autant plus avantageux que, ne tirant leur force que de la présence du courant, ils peuvent se faire et se défaire en un instant autant de fois que l'on veut, puisqu'il suffit pour cela de fermer le courant ou de le rompre. Ces aimants artificiels s'appelèrent *électro-aimants*. Ils se composent en général d'un fer à cheval dont les deux branches sont enveloppées d'un très long fil de cuivre recouvert de soie, enroulé comme dans le multiplicateur. Il paraîtrait que M. Sturgeon aurait eu le premier l'idée de ces puissants électro-aimants. Celui de M. Pouillet, construit en 1831, portait aisément plus de mille kilogrammes quand le courant était produit par une pile de vingt-quatre couples. M. Henry, aux États-Unis, et M. Robert, à Manchester, ont obtenu des résultats véritablement incroyables ; des électro-aimants temporaires supportèrent un poids de plusieurs tonneaux. Nous verrons tout-à-l'heure le parti que l'on a tiré de cette découverte dans la télégraphie électrique.

En 1831, M. Faraday fit faire de son côté à la science un pas de géant en découvrant les phénomènes d'induction. Il démontra que lorsqu'un circuit conducteur fermé commencé à recevoir dans quelques uns de ses points l'action d'un courant donné, il est traversé par un courant inverse ; que lorsqu'il cesse de recevoir cette action, il est traversé par un courant direct ; enfin que pendant qu'il

reçoit cette action d'une manière constante, il n'est traversé par aucun courant et n'éprouve aucune modification apparente sensible. L'action sur le circuit fermé qui donne naissance au courant d'induction peut d'ailleurs être produite par un courant primitif ou par un aimant. Il suffira donc de faire tourner un électro-aimant ou une bobine disposée en électro-aimant, devant un fer-à-cheval aimanté pour obtenir des courants même intenses. Le courant induit est, comme nous venons de le dire, double : inverse d'abord, direct ensuite ; mais il sera très facile de le réduire à un courant simple, sensiblement homogène et continu : il suffira pour cela d'imprimer à l'électro-aimant un mouvement de rotation rapide, et de recueillir seulement le courant qui se produit pendant le passage de l'une de ses branches dans une position qu'il est aisé de déterminer. Ces dispositions ont été réalisées d'abord par Pixii fils ; d'autres constructeurs ont établi depuis des appareils portatifs très commodes, très puissants, et qui produisent tous les effets de la pile. Les effets d'aimantation obtenus par ces appareils furent d'abord très bornés, parce qu'on recommandait toujours de se servir de la bobine à fil gros et court. Je crois avoir reconnu des premiers, à l'aide d'une petite machine sortie des ateliers d'un constructeur habile et fort ingénieux, M. Billant, que cette recommandation était une grosse erreur, et que l'on obtenait au contraire des électro-aimants excessivement puissants en se servant d'une bobine à fil très fin et très long. Dans les expériences que je fis à ce sujet avec l'abbé Raillard, nous parvînmes à faire porter au demi-électro-aimant de M. Pouillet un poids de près de 600 kilogrammes, par le seul courant de la petite machine de Billant. Le fil très mince de la bobine employée avait 1500 mètres de longueur. L'électro-aimant que l'artiste avait joint primitivement à sa machine ne pouvait porter que quelques grammes. Ces expériences se firent en juillet 1838 ; je les répétai devant beaucoup de savants, et en particulier devant MM. Masson et Bréguet, qui, frappés des résultats que j'avais obtenus, se servirent de la bobine à fils longs pour faire mouvoir à distance un barreau aimanté, ce à quoi ils réussirent avec la plus grande facilité. Ils firent plus, ils transportèrent cette même petite machine au chemin de fer de l'entrepôt du Gros-Caillou, et virent non sans étonnement que la conductibilité du circuit formé par les rails était sensible-

ment la même que celle d'un fil de cuivre continu d'égale longueur, et d'un millimètre de diamètre ; que les interruptions des rails ne diminuaient pas la conductilité ; que le courant de la petite machine électro-magnétique, après avoir traversé sans peine cette grande longueur de rails, était encore assez intense pour faire dévier le barreau aimanté, etc. Le récit de cette excursion fut communiqué à l'Académie des sciences par MM. Masson et Bréguet, dans la séance du lundi 9 octobre 1838.

J'ai insisté sur ces principes, parce qu'ils sont encore trop peu connus. M. Pouillet lui-même, dans sa description de l'appareil magnéto-électrique, assigne la bobine à fils gros et courts comme devant être employée pour obtenir des électro-aimants. Et d'ailleurs, il est aujourd'hui bien reconnu que le moteur dans les télégraphes électriques doit être définitivement une machine électro-magnétique armée d'une bobine à fil très mince, et dont la longueur toujours immense doit être dans un certain rapport avec la longueur de la ligne télégraphique.

Qu'on me permette de relater encore ici un fait qui me surprit vivement quand je le vis pour la première fois à une époque où les lois de la résistance du courant étaient peu connues ou peu appliquées. La bobine à fil gros et court ne communiquait aucune aimantation au gros électro-aimant de M. Pouillet, formé d'un fil de cuivre d'environ mille mètres de longueur et de deux tiers de millimètre de diamètre ; il aimantait seulement le petit morceau de fer doux remis par l'artiste, entouré d'un fil assez gros et d'un mètre au plus de longueur. La bobine à long fil, au contraire, donnait une puissance énorme à l'électro-aimant de M. Pouillet, et n'aimantait en aucune manière le petit morceau de fer doux. Les lois découvertes et analysées par MM. Ohm et Pouillet expliquent très bien cette étrange anomalie. Le courant d'induction ne produit des effets appréciables que lorsque la longueur du fil qui le reçoit à son origine est dans un rapport fini avec le fil qu'il doit ensuite traverser, ce qui revient à dire qu'il doit exister une certaine proportion entre la puissance et la résistance. Si la puissance est trop grande, la résistance trop faible, le courant passe sans faire sentir sa présence ; si la puissance est trop faible, la résistance trop grande, le courant est comme arrêté dans sa marche et ne produit rien ; il

faut qu'il traverse le fil conducteur avec une certaine difficulté, mais cette difficulté doit être maintenue en de certaines limites.

Les découvertes immortelles de MM. Arago et Faraday ont donc amené la réalisation du producteur d'électricité dynamique qui convient essentiellement à la télégraphie électrique. Nous allons voir bientôt que ces principes suffisent aussi à la mise en action des forces dont on peut avoir besoin pour mettre en jeu les différentes parties de l'appareil.

On peut cependant, à la rigueur, substituer à la machine électro-magnétique la pile à effet constant, dont il me reste à dire quelques mots. M. Becquerel avait fait connaître depuis longtemps les principes simples à l'aide desquels on pouvait construire les appareils voltaïques à courants très faibles, il est vrai, mais constants, dont il se servit dans ses recherches électro-chimiques.

Plusieurs années après, M. Daniell, en partant de l'idée fondamentale de M. Becquerel, construisit la pile à courant constant très intense qui porte son nom, et qui est devenue un appareil tout-à-fait pratique. Cette pile, comme la pile de Wollaston, se compose de deux métaux cuivre et zinc; mais le cuivre plonge dans une solution de sulfate de cuivre; et le zinc, qu'il convient d'amalgamer, dans une dissolution de sulfate de zinc ou de chlorure de sodium. Quand on maintient la solution de cuivre au même degré de saturation, la pile de Daniell donne un courant dont l'intensité reste sensiblement la même pendant des journées entières. On a varié de mille manières la disposition de cette pile et la nature des deux liquides employés. M. Bunsen a substitué au cuivre des cylindres de charbon, aux sulfates de cuivre et de zinc l'acide sulfurique et l'acide nitrique, et il a ainsi obtenu une pile excellente, aujourd'hui très employée, surtout quand on veut obtenir des effets énergiques. Il est aussi des piles à effet constant formées d'un seul liquide; je n'indiquerai ici que celle de M. Wheatstone. Son élément se compose d'un vase poreux de terre rouge à moitié cuite que l'on remplit d'un amalgame pâteux de zinc; ce vase repose au centre d'un vase de verre ou de porcelaine que l'on remplit de sulfate de cuivre; dans l'amalgame, on plonge un fil de cuivre, qui est le pôle négatif de la pile; autour du vase poreux et dans le bain de sulfate de cuivre est une lame de cuivre communiquant à un fil de même

métal et formant le pôle positif de la pile. Si les fils communiquent, l'action est vive, l'eau est décomposée, le zinc s'oxide, l'amalgame devient négatif, et cette électricité négative se transmet immédiatement à la feuille de cuivre qui plonge dans le bain de sulfate de cuivre ; l'hydrogène positif résultant de la décomposition de l'eau se rend donc au cuivre, et là il réduit l'oxide du sulfate pour donner lieu à un dépôt de cuivre métallique, tandis que l'acide devient libre pour se combiner avec l'oxide de zinc. Ainsi, pour un équivalent de zinc oxidé, il y a un équivalent de cuivre revivifié. Le sulfate de zinc qui se forme s'élève au-dessus de l'amalgame. Cet élément a une force sensiblement constante, autant du moins que le vase poreux permet une circulation également libre des liquides, et que la dissolution de sulfate de cuivre est maintenue à un degré convenable de saturation. Je n'ai décrit ici cette pile que parce que j'aurai besoin de la rappeler dans la suite de ce mémoire.

Nous venons d'énumérer avec d'assez longs détails les grandes découvertes par lesquelles la science devait enfin rendre possible la solution du grand problème qui nous occupe. Tous les éléments du succès sont réunis ; à qui appartiendra ou plutôt à qui appartient la grande gloire de la réalisation pratique du télégraphe électrique ? Les faits que nous allons raconter avec impartialité, après avoir fait de cette matière délicate l'objet d'une étude approfondie, parleront d'eux-mêmes.

Remarquons d'abord qu'il n'est guère de physicien à qui l'idée ne se soit présentée d'employer l'électricité comme moyen télégraphique, et que le plus grand nombre de ces physiciens ont cédé au désir de donner de la publicité à leurs procédés. M. Wheatstone disait en 1838 à M. Quételet qu'il avait déjà recueilli pour sa part les noms de soixante-deux prétendants à la découverte. Au milieu de tous ces noms, quelques uns dominent ; évidemment, dans cette notice abrégée, nous ne pourrons examiner les droits que de ceux-ci.

Morse.

On prétend faire remonter à 1832 le télégraphe de M. Morse, qui a fait beaucoup de bruit il y a quelques années. Examinons cette date : laissons d'abord parler M. Morse. Voici en grande partie la

note qu'il remit aux secrétaires perpétuels de l'Académie, dans la séance du 10 septembre 1838, en même temps qu'il présentait son instrument et le mettait en jeu.

« M. Morse croit que son instrument est la première application réalisable qui ait été faite de l'électricité à la construction d'un télégraphe. Cet instrument fut inventé en octobre 1832, pendant que l'auteur se rendait d'Europe en Amérique sur le paquebot *le Sully*. Le fait est certifié par le capitaine du bâtiment et par plusieurs passagers. Au nombre de ces derniers se trouvait M. Rives, ministre des États-Unis auprès du gouvernement français. M. Rives a écrit à M. Morse, à la date du 21 septembre 1837 :

» Je me rappelle parfaitement que vous m'exposâtes l'idée de votre ingénieux instrument pendant le voyage que nous fîmes ensemble dans l'automne de 1837. Je me rappelle aussi que durant nos nombreuses conversations sur ce sujet, je vous fis diverses difficultés, et que vous les levâtes avec promptitude et confiance, etc.

W. C. Rives. »

Dans la lettre du capitaine du paquebot, M. W. Pell, en date du 27 septembre 1837, nous remarquons particulièrement ce passage :

« Lorsque j'examinai votre instrument il y a peu de jours, j'y reconnus les principes et les arrangements que je vous avais entendu développer à mon bord, en octobre 1832. . . . . »

La note ajoute :

« Depuis l'époque à laquelle remonte l'invention du télégraphe de M. Morse, d'autres appareils, fondés sur les mêmes principes, ont été annoncés, parmi lesquels les plus célèbres sont ceux de M. Steinheil de Munich et de M. Wheatstone de Londres; les mécanismes diffèrent beaucoup. »

Il semble résulter de ces assertions que deux documents certains prouveraient que M. Morse avait, en effet, conçu en 1832 l'idée de son télégraphe électrique. Mais comment a-t-on pu dire que c'étaient des documents incontestés, quand, dans les Comptes-rendus de l'Académie, séance du 4 mars 1839, nous lisons l'extrait suivant d'une lettre adressée par un certain M. Jackson à M. de Élie de Baumont :

« Je regrette de voir dans les papiers publics que le professeur

Samuel J.-B. Morse s'est approprié mon télégraphe électro-magnétique. Je lui expliquai cet instrument tout au long, à bord du paquebot *le Sully*, quand je revenais en Amérique, dans le mois d'octobre 1832. Je suis peiné du patronage immérité que les savants français ont accordé à M. Morse : l'invention qu'il leur a montrée m'appartient en entier. Dès que je sus quelles étaient ses prétentions à ce sujet, je lui adressai ma protestation ; mais je vois qu'il persévère. Je vous en prie, informez l'Académie que M. Morse n'a pas inventé le nouveau télégraphe, et que je lui en donnai la description en octobre 1832. »

Cette lettre annule évidemment l'effet de celles de MM. Rives et Pell ; car, alors même que M. Morse aurait réellement entretenu ces messieurs d'un plan de télégraphe, ainsi qu'ils l'affirment, rien ne prouve absolument que le télégraphe en question n'est pas celui dont M. Jackson assure avoir confié la description à cette même date, dans le même voyage. Ce qui est prouvé invinciblement par la note du compte-rendu, ce qui est avoué par M. Morse, c'est qu'entre l'époque à laquelle remonterait l'invention de M. Morse, et la date certaine de la publicité qu'il lui donna en septembre 1837, *d'autres appareils fondés sur les mêmes principes ont été annoncés, parmi lesquels les plus célèbres sont ceux de M. Steinheil de Munich et de M. Wheatstone de Londres.*

Dans sa belle notice sur les travaux du grand Herschell, M. Arago établit en principe qu'il n'y a qu'une manière rationnelle et juste d'écrire l'histoire des sciences : c'est de s'appuyer exclusivement sur des publications ayant date certaine ; hors de là, dit-il, tout est confusion et obscurité. Cette règle est peut-être sévère ; mais, ajoute l'illustre secrétaire, « quelle plainte légitime pourrait faire entendre celui qui, amoureux de ses découvertes comme l'avare l'est de ses trésors, les enfouit, se garde même de les laisser soupçonner, de peur que quelque autre expérimentateur les développe et les féconde ! Le public ne doit rien à qui ne lui a rendu aucun service. Oh ! je vous entends ! vous vouliez prendre le temps de compléter votre ouvrage, de le suivre dans toutes ses ramifications, d'en indiquer les applications utiles ! Libre à vous, messieurs, libre à vous ; mais c'est à vos risques et périls. D'ailleurs vos craintes de spoliation sont exagérées. Où a-t-on vu, en effet,

que le monde scientifique ait manqué de poursuivre de ses poignants sarcasmes, de ses justes colères, de ses écrasants mépris, les personnages stériles qui, aux aguets des travaux de leurs contemporains, ne manquent jamais de se jeter sur un filon le lendemain même du jour où quelque heureux explorateur l'a découvert, qui se montrent sans cesse aux croisées, à tous les étages des édifices en construction, dans l'espérance qu'on les en croira les architectes ou les propriétaires? Le plus simple bon sens veut que pendant un temps limité, mais suffisamment étendu, une possession privilégiée, absolue, soit accordée aux inventeurs; cette stricte justice leur a-t-elle jamais été refusée? Si un homme déloyal va moissonner sur le champ qu'il n'a pas ensemencé, la réprobation générale est là pour le punir! Non, non! il ne faut pas s'y tromper : en matière de découvertes comme en toute autre chose, l'intérêt public et l'intérêt privé bien entendu marchent toujours d'accord.

» J'ai parlé de publication, dit enfin M. Arago; j'appelle ainsi toute lecture académique, toute leçon faite devant un nombreux auditoire, toute reproduction de la pensée par la presse. Les communications privées n'ont pas l'authenticité nécessaire. Les certificats d'amis sont sans valeur; l'amitié manque souvent de lumières et se laisse fasciner. »

Qui n'adopterait pleinement ces principes? Et en les appliquant à M. Morse, on sera forcé d'admettre que ses prétentions à l'invention du télégraphe électrique ne sont pas plus fondées que celles de M. Jackson. MM. Wheatstone et Steinheil, et, à plus forte raison, MM. Gauss et Weber ont sur lui la priorité.

Mais à quoi bon cette discussion? Supposons que M. Morse ait vraiment imaginé le télégraphe dont M. Jackson lui dispute l'invention, en quoi consiste cet appareil? Citons de nouveau la note déposée à l'Académie par M. Morse.

« Le télégraphe américain n'emploie qu'un seul circuit; à l'extrémité du circuit où les nouvelles doivent être reçues est un appareil nommé le *register*, ou rapporteur. Il consiste en un électro-aimant dont le fil enveloppe forme le prolongement du fil du circuit.

» L'armature de cet aimant est attachée au bout d'un petit levier qui, par l'extrémité opposée, porte une plume. Sous cette plume est

un ruban de papier qui marche à volonté à l'aide d'un certain nombre de rouages. A l'autre extrémité du circuit, c'est-à-dire à la station d'où les nouvelles doivent partir, existe un appareil nommé *portrule* ou port-composteur. Il consiste en une batterie ou générateur de galvanisme, aux deux pôles de laquelle finit le circuit; près de la batterie (l'auteur a voulu dire la pile), une portion de ce circuit est brisée; les deux extrémités disjointes sont introduites dans deux coupes de mercure contiguës.

» A l'aide d'un fil en fourche attaché à l'extrémité d'un petit levier, les deux coupes peuvent à volonté être mises en connexion entre elles, ou laissées isolées. Ainsi, le circuit est fermé ou rompu quand on le veut. Le jeu du mécanisme est le suivant.

» Quand le circuit est fermé, l'aimant est chargé; il attire l'armature, et le mouvement de celle-ci fait que la plume touche le papier. Lorsque le circuit est fermé et ouvert rapidement, il se produit sur le papier mobile de simples points; si, au contraire, il reste fermé pendant un certain temps, la plume marque une ligne d'autant plus longue que la fermeture est elle-même plus longue. Le papier offre un large intervalle de blanc si le circuit reste ouvert un temps considérable. Ces points, ces lignes et les espaces blancs conduisent à une grande variété de combinaisons. A l'aide de ces éléments, M. le professeur Morse a construit un alphabet et les signes des chiffres. Les lettres peuvent être écrites avec une grande rapidité au moyen de certains types que la machine fait mouvoir avec exactitude, et qui impriment au levier portant la plume des mouvements convenables. On trace quarante à quarante-cinq de ces caractères en une minute.

» Le register ou rapporteur est sous le contrôle de la personne qui envoie une nouvelle. En effet, depuis l'extrémité nommée port-composteur, le mécanisme du rapporteur peut être mis en mouvement à volonté et arrêté de même. La présence d'une personne pour recevoir la nouvelle n'est donc pas nécessaire, quoique cependant le son d'une cloche mise en tintement par le mécanisme annonce que l'on va commencer à écrire. »

Les *Comptes-rendus* ajoutent que la distance à laquelle le télégraphe américain a été essayé est de dix milles anglais, ou de quatre lieues de poste de France; que les expériences eurent pour témoins

une commission de l'Institut de Franklin de Philadelphie, et un comité nommé par le congrès des États-Unis; que les rapports des deux commissions furent extrêmement favorables; que le comité du congrès proposa de consacrer 30,000 dollars (150,000 francs) à une expérience en grand de ce mode de communication; que la dépense de construction du nouveau système télégraphique serait, suivant M. Morse, de 3,500 francs par mille anglais, ce qui revient à 14,000 francs par lieue de poste de France; que la machine qu'il faudrait à chaque extrémité ne coûterait pas plus de 1,500 fr. M. Morse pense que les fils, une fois placés, dureraient un demi-siècle, à moins que la malveillance ne les brisât.

Voilà les dispositions du télégraphe de M. Morse! Étaient-elles assez parfaites pour qu'il pût fonctionner en grand et répondre aux besoins d'un service de tous les instants? Le problème de la télégraphie électrique fut-il alors pleinement résolu? Nous ne craignons pas de dire que non. Le mode de production des signes, ce genre d'écriture réalisée à distance, l'introduction du temps de la durée du courant dans la composition de l'alphabet, sont choses essentiellement défectueuses qu'il faudra nécessairement abandonner. Serais-je sur ce point en désaccord avec M. Arago, qui, dans la communication qu'il fit à la Chambre des députés, indiquait en ces termes le système de M. Morse comme pouvant être adopté par la commission des télégraphes? « Concevons qu'à la station où l'on doit recevoir la dépêche on ait une longue bande de papier mobile entre deux rouleaux à l'aide d'une force mécanique quelconque. La pièce de fer dont je parlais tout-à-l'heure, cette pièce destinée à être successivement aimantée et non aimantée, est placée au-dessus du papier, et par son mouvement de bascule entraîne un pinceau. Le courant passe-t-il, la pièce alors aimantée est attirée par une masse de fer stationnaire, elle bascule et pousse le pinceau jusqu'au papier; le courant n'a-t-il duré qu'un instant, le pinceau ne trace qu'un point; l'aimantation a-t-elle eu quelque durée, le pinceau avant de se relever aura marqué un trait d'une longueur sensible sur le papier mobile. Vous pouvez ainsi, à cent lieues de distance, faire succéder sur le papier de votre correspondant un point à un point, un point à un trait; intercaler un point entre deux traits, un trait entre deux points, etc., etc., et engen-

drer ainsi les signaux qui, suivant M. Foy, doivent suffire à la correspondance télégraphique la plus variée. »

On conclurait à tort de ces paroles que M. Arago est partisan du système de M. Morse; nous dirons seulement qu'il lui a rendu l'hommage que, spéculativement parlant, il méritait. Mais au fond le jugement de M. Arago est tout-à-fait conforme au nôtre, et la commission dont il est président se gardera bien d'adopter le télégraphe américain, lequel dans la pratique remplirait très mal sa destination.

Schilling.

L'invention du télégraphe de M. Morse appartient, authentiquement du moins, comme nous l'avons prouvé, à l'année 1837. M. Amyot, dans une note présentée à l'Académie des sciences dans la séance du 9 juillet 1838, raconte qu'en 1832 ou 1833 M. le baron Schilling, qui n'était point, à ce qu'il paraît, un physicien savant, mais un simple amateur, construisit à Saint-Pétersbourg un télégraphe électrique qui consistait en un certain nombre de fils de platine isolés et réunis dans une corde de soie, lesquels mettaient en mouvement, à l'aide d'une espèce de clavier, cinq aiguilles aimantées placées dans une position verticale, au centre du multiplicateur. Il avait joint à son appareil un mécanisme fort ingénieux dont l'idée était à lui et consistait dans une montre à sonnerie, espèce de réveil qui, lorsque l'aiguille tournait au commencement de la correspondance, était mise en jeu par la chute d'une petite balle de plomb que faisait tomber la pointe de l'aiguille aimantée. L'empereur actuellement régnant fut témoin d'expériences faites sous ses yeux avec ce télégraphe; mais le baron Schilling étant mort quelque temps après, on n'a pas pu tirer parti de son habileté pour l'établissement de ce genre de correspondance sur une grande échelle, ce qui paraît faire l'objet d'un vif désir de la part du gouvernement russe.

Schilling, par les dix mouvements dont ses cinq aiguilles étaient susceptibles, n'indiquait que les dix chiffres dont les combinaisons données par un dictionnaire spécial formaient tous les signaux possibles.

Gauss et Weber.

Dès 1834, deux des plus illustres savants de l'Allemagne, MM. Gauss et Weber, entrèrent noblement dans la lice, en établissant au moyen de l'électricité une communication télégraphique entre l'observatoire et le cabinet de physique de l'Université de Gœttingue. Leurs premières expériences ont été mentionnées dans les *Publications scientifiques de Gœttingue* pour 1835, et dans l'*Annuaire de Schumacher* pour 1836. Ils les répétèrent et les perfectionnèrent plus tard en utilisant les phénomènes d'induction magnétiques découverts vers ce temps-là par M. Faraday. Les mouvements divers, ou les oscillations lentes d'un barreau aimanté, causés par le passage du courant, et observés à l'aide d'une lunette, fournissaient à MM. Gauss et Weber tous les signaux dont ils avaient besoin pour correspondre avec facilité et promptitude. Il n'est du reste pas douteux que ces habiles physiciens aient plutôt eu en vue de montrer la possibilité des télégraphes électriques que de réunir les conditions nécessaires pour le faire servir à la pratique d'une manière permanente.

Steinheil.

Les recherches et les tentatives de M. Steinheil précédèrent incontestablement celles de M. Wheatstone; son télégraphe était construit en juillet 1837. La description que nous allons reproduire a été communiquée à l'Académie des sciences dans la séance du 10 septembre 1838.

« Le télégraphe de M. Steinheil est une application des découvertes successives et fondamentales d'Œrsted et de Faraday, et du multiplicateur de Schweiger.

» Dans un fil de 36,000 pieds de longueur, de trois quarts de ligne d'épaisseur, et retournant sur lui-même, M. Steinheil produit un courant galvanique par l'action d'une machine de rotation semblable à celle de Clarke, mais construite de manière que la résistance dans l'appareil générateur soit très grande par rapport à celle qui a lieu dans le conducteur : c'est ainsi qu'il appelle le fil de cuivre. Ce conducteur forme sur différentes stations des multipli-

cateurs de 400 à 500 révolutions en fil de cuivre isolé, très fin, autour d'une aiguille aimantée, posée sur un axe vertical terminé par deux pointes.

» Les déviations produites par le courant galvanique sur ces aiguilles aimantées ont lieu instantanément; elles donnent le moyen d'obtenir les signes télégraphiques. On voit qu'il n'existe que deux signes différents produits : l'un, lorsque le courant est dirigé dans un sens, et l'autre résultant de la direction du courant en sens inverse. On dirige à volonté le courant en tournant la machine de rotation dans un sens ou dans l'autre. Les aiguilles aimantées, après leurs déviations analogues, sont ramenées à leur position primitive par l'action des forces magnétiques de deux petits aimants régulateurs. Sur chaque station, on a un appareil de rotation qui produit la force déviatrice, et un autre qui donne les signes par suite des déviations produites.

» Partout où passe le conducteur, on possède une force agissant instantanément selon la volonté de celui qui la produit. Il n'en faut pas davantage pour communiquer les idées : il suffit de bien choisir les signes au moyen desquels elles doivent être représentées.

» Un télégraphe dont les signes ne sont que visibles ne peut jamais être parfait, parce qu'il exige une attention continuelle de la part des observateurs. Pour rendre son télégraphe exempt de cet inconvénient, M. Steinheil a tâché de produire des sons qui, frappant l'ouïe, peuvent faire du langage télégraphique une imitation de la parole. Pour atteindre ce but, M. Steinheil place à côté des deux aiguilles aimantées deux petites cloches donnant chacune un son qui lui est propre, et qui se distingue facilement de celui de la cloche voisine. Chaque déviation d'une aiguille occasionne de la part de celle-ci un choc contre la cloche correspondante; et comme on produit à volonté la déviation de l'une ou de l'autre des deux aiguilles en dirigeant le courant galvanique dans un sens ou dans l'autre, on obtient instantanément le son que l'on désire.

» M. Steinheil ne s'est pas borné, dans la disposition de son télégraphe, à la production de sons fugitifs; il a voulu aussi fixer ces sons en traçant sur le papier des signes qui les rappelassent. Il y est parvenu en faisant avancer, au moyen de la direction des deux aiguilles aimantées, deux petits tubes pointus munis d'une encre

particulière. A chaque coup de cloche, on peut voir l'une des pointes s'avancer contre une bande étroite de papier qui se meut très lentement avec une vitesse uniforme devant ces pointes, et y dépose un point bien distinct représentant la note musicale que la cloche a fait entendre. Les points ou notes laissés par chaque pointe sont sur la même ligne : il y a donc deux lignes de notes.

» En combinant les sons et les notes jusqu'à quatre, M. Steinheil a obtenu un alphabet parlé et un alphabet écrit comprenant les lettres nécessaires pour écrire tous les mots de la langue allemande, et, de plus, les chiffres. On a pu voir dans un dessin qui a été mis sous les yeux de l'Académie la disposition des points pour former les signes au moyen desquels il représente et les lettres et les chiffres.

» Les sons peuvent être produits dans un temps très court ; il est facile d'en obtenir quatre pendant une seconde. Des intervalles plus grands séparent les lettres et les mots. C'est par habitude que l'on parvient à comprendre la musique produite par le son du télégraphe, et à lire les signes qui résultent de l'arrangement des notes laissées sur la bande de papier continue. La mémoire est facilitée par une certaine analogie que M. Steinheil a cherché à établir entre la forme des lettres et la figure résultant de la réunion des notes par des lignes droites.

» M. Steinheil pense donc avoir inventé le premier télégraphe dans le sens véritable du mot, c'est-à-dire un appareil qui parle un langage facile à comprendre, et qui écrit lui-même ce qu'il dit, ou plutôt ce qu'on lui fait dire.

» L'appareil est simple et solide. Depuis un an qu'il était construit, en juillet 1838, il n'avait encore exigé aucune réparation.

» Un fait digne de remarque, et que l'on peut observer sur le conducteur employé par M. Steinheil, est que le conducteur n'a point éprouvé d'oxidation ; la galvanisation l'en a préservé, malgré son exposition à l'air sur une grande longueur.

» Le télégraphe galvanique établi à Munich part de l'observatoire de M. Steinheil à la *Lerchenstrass* ; en ce point le conducteur est réuni à une plaque de cuivre enterrée. Partant de là, le fil de cuivre traverse dans l'air, et, par-dessus les maisons, la partie de la ville comprise entre la *Lerchenstrass* et les bâtiments de l'Académie des sciences, où une seconde station a été établie.

» De l'Académie, le conducteur se read à l'observatoire royal à *Bogenhausen*, troisième station, après avoir traversé dans l'air, et par-dessus les tours et les édifices élevés, le reste de la ville, puis l'Issar, fleuve qui la longe d'un côté, puis la montagne appelée *Gasteig*, et enfin la ville de Haidhausen, qui est comme un faubourg de Munich. La longueur du trajet est d'environ une lieue trois quarts d'Allemagne.

» A l'observatoire royal, à Bogenhausen, le fil aboutit, comme au point de départ, à une plaque de cuivre enfoncée dans la terre.

» Quoique la terre ne soit que peu douée de la faculté conductrice en comparaison des métaux, le courant galvanique traverse la distance dont il vient d'être parlé avec une résistance d'autant plus petite qu'on augmente davantage la surface des plaques enterrées. Celles qui sont appliquées aux deux extrémités du conducteur, à la Lerchenstrass et à Bogenhausen, n'ont que six pouces de côté.

» On voit donc que le même moyen peut être appliqué pour des distances très considérables. Des mesures numériques de résistance, pour diverses compositions du terrain, laissent à M. Steinheil la certitude que l'application de cette découverte ne sera limitée ni par la distance ni par la nature du terrain.

» Depuis la construction de son premier télégraphe galvanique, M. Steinheil a imaginé des moyens nouveaux propres à simplifier la solution du problème qu'il s'est posé. Il a trouvé, par exemple, que la terre peut servir comme moitié de conducteur; découverte qui serait de la plus grande importance, si, comme il n'en doute pas, ses prévisions se réalisent.

» M. Steinheil annonce qu'il a déterminé par l'observation la loi suivant laquelle les forces galvaniques se dispersent en passant à travers la terre, ou par les eaux d'une grande étendue. Ce travail, dont l'auteur attend des résultats merveilleux, sera publié incessamment. »

Il y a évidemment dans ce projet d'excellentes choses, un véritable progrès. Le fait reconnu de la *suffisance* (ce mot ne peut être remplacé par rien) d'un conducteur unique pour conduire et ramener le courant avec l'aide de la terre mise en communication avec les deux extrémités du fil, est une très grande découverte qui restera, et dont dépend en grande partie l'avenir de la télégraphie électrique.

L'emploi des machines magnéto-électriques, cette disposition heureuse des multiplicateurs placés aux diverses stations, lesquelles peuvent devenir tour à tour des centres de correspondance, les points de départ des dépêches que l'on veut transmettre, sont aussi une disposition très ingénieuse qui sera définitivement adoptée. Ces réflexions nous forcent à conclure que M. Steinheil peut réclamer justement une grande part de gloire dans la solution maintenant complète du beau et grand problème de la télégraphie. Cette gloire toutefois ne lui appartient pas tout entière, et son appareil même ne subsistera pas dans ses parties fondamentales. On a droit d'exiger que je donne les raisons des restrictions que j'apporte aux éloges mérités par le physicien bavarois. Je ne dirai pas brutalement, comme on l'a fait naguère, que son mécanisme trop compliqué mettrait à bout la patience de quiconque ne serait pas Allemand; j'avouerai, au contraire, qu'en lui-même son alphabet phonique, obtenu par la combinaison de quatre coups produits sur deux cloches, est une bonne idée, laquelle, je crois, sera adoptée un jour dans les télégraphes plus parfaits.

Mais je rejette l'alphabet graphique, et même l'alphabet phonique, en tant qu'ils doivent être réalisés tous deux par la force directe du courant. C'est là qu'est le vice du télégraphe de M. Steinheil. Quand on a beaucoup expérimenté en ce genre, on acquiert bientôt la conviction intime et inébranlable que les signes télégraphiques ne peuvent pas être produits d'une manière certaine et constante par l'action directe du courant; qu'entre cette action directe et la production des signes il faut une force intermédiaire nécessairement efficace et constante, l'action d'un poids ou d'un ressort par exemple; de telle sorte que l'influence du courant ne faisant, si je puis m'exprimer ainsi, que dégager ou mettre en liberté la force étrangère constante, ce soit celle-ci qui, en définitive, produise immédiatement les signes ou l'alphabet quel qu'il soit. Voilà la vraie théorie de la télégraphie électrique : ce que ces lignes contiennent encore de vague disparaîtra quand nous ferons la description du télégraphe de M. Wheatstone.

Amyot.

Un peu avant MM. Morse et Steinheil, M. Amyot avait adressé

à l'Académie des sciences, séance du 2 juillet 1838, une note que j'ai déjà citée et dans laquelle je trouve le passage suivant :

« Quant à moi, après avoir étudié la question autant qu'il m'a été possible, je l'ai résumée à l'emploi d'un seul courant, d'une seule aiguille qui écrit d'elle-même sur le papier, et avec une précision mathématique, la correspondance que transmet à l'autre extrémité une simple roue sur laquelle on a écrit dans son cabinet, à l'aide de pointes différemment espacées, comme sur les roues de nos orgues de Barbarie, laquelle roue tourne régulièrement par un ressort de montre. De cette manière on n'a donc qu'à écrire en espèce de caractères mobiles la nouvelle qu'on veut transmettre. Ce genre de dépêches est déposé dans une boite, et au même instant elle s'écrit toute seule à la distance où on l'envoie. Les agents qui l'attendent là n'ont qu'à recueillir le papier, qui se meut aussi régulièrement par une machine, et à le porter sous les yeux de ceux qui savent lire le chiffre. Dans ce mode d'exécution aucune erreur n'est à craindre, puisque tout marche comme une horloge. »

A part le grave inconvénient que j'ai signalé dans le télégraphe de M. Steinheil, ce mécanisme est très simple, très ingénieux, en théorie du moins. L'exécution était plus difficile, et rien ne nous apprend que M. Amyot en soit venu là; tout annonce au contraire qu'il n'a pas complété son invention, que d'autres personnes auraient utilisée. Il faut surtout, dit-on, attribuer cet insuccès à la mort de M. Savary, qui s'était fait le collaborateur et le conseiller de M. Amyot. Ce dernier toutefois a communiqué depuis à l'Académie, en décembre 1838, une série de tableaux offrant un mode de langue et un système de lignes qu'il propose pour la correspondance télégraphique.

Masson et Bréguet.

M. Masson, alors professeur de physique à Caen, adressa dans la même séance à l'Académie une lettre, dans laquelle il annonçait qu'il avait fait au collége de cette ville un essai de télégraphie électrique, sur une distance d'environ 600 mètres. Il employait, pour développer le courant qui devait agir sur des aiguilles aimantées aux deux extrémités du circuit, l'appareil magnéto-électrique de Pixii. L'essai de M. Masson avait très bien réussi. Plus tard, en

octobre 1838, M. Masson, associé cette fois à M. Bréguet fils, un des membres de la commission actuelle du télégraphe de Rouen, répéta son expérience au chemin de fer de La Gare, dans les circonstances que nous avons dites. Ces essais sont évidemment tout-à-fait incomplets, si on les compare aux résultats obtenus par MM. Steinheil et Morse. MM. Masson et Bréguet ont de plus adressé à l'Académie, sous dépôt cacheté, la description d'un nouveau télégraphe électrique. Beaucoup d'autres inventions semblables, celles entre autres de MM. Deval, Bellon, Baillet-Sondalot, etc., etc., sont aussi restées ensevelies dans des paquets cachetés : nous n'avons donc pas à en parler. Ce précis historique nous conduit enfin à l'époque de la réalisation en grand du télégraphe électrique.

CINQUIÈME ÉPOQUE.

Wheatstone.

Le 12 juin 1837, M. Wheatstone prit en Angleterre sa première patente. Je dis le 12 juin, et non le 12 décembre, comme l'affirme le bibliothécaire des Arts et métiers. M. Boquillon ne peut pas ignorer qu'en Angleterre, comme en France il y a dans l'obtention d'un brevet d'invention ou d'une patente, deux temps fort distincts que les Anglais désignent par les mots *sealed* et *specified*. Il y a d'abord le dépôt de la spécification et des plans, suivi immédiatement de la concession provisoire ; puis au bout de six mois il y a la concession définitive du brevet ou de la patente avec le gâteau de cire, concession dont la délivrance en Angleterre suppose la présence de l'inventeur sur le sol anglais et la formalité préalable de sa signature, qui ne peut être donnée par procureur. C'est par mégarde sans doute que M. Boquillon donne pour date à la pateute de M. Wheatstone cette seconde époque, taudis que la première est la seule date authentique de toute invention et le point de départ des droits sacrés de l'inventeur. Le mois de juin 1837 est donc l'époque certaine à laquelle remonte le télégraphe de M. Wheatstone. Un article du journal *of Popular education* l'avait même fait connaître au mois de mars. La première apparition de ce télégraphe en France eut lieu à l'Académie des sciences, dans la séance du 8 janvier 1838. Voici la note insérée dans les *Comptes-rendus* :

« Il est donné lecture de l'extrait d'une lettre de M. le docteur Buckland à M. le docteur Robertson, dans laquelle il était question d'un télégraphe électrique que M. Wheatstone se propose d'établir entre Londres et Liverpool. Les fils destinés à faire jouer les lettres aux extrémités de la ligne seront placés sous le chemin de fer qui va de l'une à l'autre de ces deux villes. »

Suppléons à cette annonce insignifiante par un autre document authentique beaucoup plus complet. M. Quételet lut à l'Académie de Bruxelles, dans la séance du 10 février 1838, une note pleine d'intérêt dont j'extrais le passage suivant :

« Voici quelques renseignements sur le procédé que M. Wheatstone se propose de suivre, et qui a déjà été mis à l'épreuve en présence d'un grand nombre de spectateurs et sur une distance de 20 milles d'Angleterre.

» M. Wheatstone fut conduit à son invention par les belles expériences qu'il fit, il y a six ans environ, dans la vue de mesurer la vitesse de transmission de l'électricité, et qui furent consignées dans les *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres pour 1834. Il trouva que cette vitesse était d'environ 200,000 milles, ou 333,800 kilomètres, par seconde. Pour faire ces expériences, il n'avait employé qu'un fil conducteur d'un demi-mille ; plus tard il employa des fils de plusieurs milles de longueur. L'occasion qu'il eut de juger des effets produits par l'électricité voltaïque et par le courant magnéto-électrique sur d'aussi grands circuits lui donna la conviction que les communications télégraphiques ne devenaient pas seulement possibles, mais très praticables. Il se mit donc à étudier l'appareil le plus convenable pour réaliser son projet, et il réussit de la manière la plus complète par les procédés suivants.

» Au moyen de cinq fils conducteurs seulement, entre deux stations éloignées, M. Wheatstone peut indiquer instantanément les différentes lettres de l'alphabet, et les transmettre au nombre d'environ vingt par minute. Plusieurs même peuvent être transmises à deux en même temps. Les mêmes fils servent à la fois pour donner et recevoir des communications, sans qu'on doive modifier en rien l'appareil. Au moyen des cinq fils conducteurs agissant sur cinq aiguilles, dont les mouvements se combinent deux à deux, ou trois à trois, M. Wheatstone produit environ dix signaux différents.

» Qu'on se figure deux petites chambres éloignées de plusieurs milles de distance, et dans chacune un observateur assis devant un petit instrument qui porte autant de touches qu'il y a de lettres dans l'alphabet. Sur le mur, et en face de lui, se trouve suspendu un tableau sur lequel sont lisiblement écrites les lettres de l'alphabet. Quand il met le doigt sur une touche de l'instrument, le caractère qui y répond est distinctement mis en jeu sous ses yeux, et il se manifeste de même pour l'autre observateur dans la station opposée, car la vitesse de l'électricité échappe à toute appréciation. L'appareil sert avec la même facilité la nuit et le jour; ni les tempêtes, ni les nuages, ni les brouillards ne peuvent empêcher ses indications. On en a fait l'essai dans toutes ces circonstances.

» On a établi une ligne télégraphique d'après le nouveau système, sur une distance d'un mille et demi dans la direction du chemin de fer de Londres à Birmingham, et de plus des expériences temporaires ont été faites dans lesquelles les fils conducteurs avaient près de 20 milles d'étendue. Les dernières expériences ont été faites de concert avec M. Cooke, qui sera chargé de tout ce qui regarde les lignes télégraphiques de l'Angleterre. M. Cooke avait lui-même inventé un télégraphe électrique très ingénieux, mais qui a été remplacé par celui dont nous venons de donner une idée.

» Il est une partie très importante dans le nouveau télégraphe dont nous avons omis de parler, c'est l'alarme ou la cloche qui appelle l'attention de l'observateur. Cette cloche sonne sous un marteau de détente qui est subitement relâché par l'action d'un aimant temporaire de fer doux sur lequel on fait agir le courant électrique. Par ce moyen très ingénieux, et qui appartient exclusivement aux deux physiciens anglais, l'observateur à l'une des stations peut appeler l'attention de l'autre observateur en faisant frapper fortement le timbre.

» Quoiqu'on fasse usage de cinq fils, on pourrait n'en employer que quatre, ou même trois, si l'on voulait se borner au dictionnaire télégraphique ordinaire.

» Les résultats qui précèdent n'ont pas encore reçu de publicité, parce que M. Wheatstone voulait s'assurer la priorité de son invention par des brevets pris en Angleterre, en France, en Belgique et aux États-Unis. Aujourd'hui que l'auteur s'est assuré la jouis-

sance de sa découverte, il a bien voulu nous permettre de faire connaître aux savants les procédés qu'il emploie. La délicatesse de ces appareils est si grande qu'il suffit, pour les mettre en action, d'employer dans le plus grand nombre de circonstances un élément voltaïque d'un décimètre de côté. Dans les cas de grande humidité seulement, il est prudent d'employer un élément d'une étendue un peu plus grande.

» Depuis que M. Wheatstone a mis ses appareils en expérience, et que les succès qu'il a obtenus n'ont plus laissé de doute sur les avantages des télégraphes électriques, plusieurs personnes ont fait des tentatives nouvelles et ont réclamé à leur bénéfice l'invention des physiciens anglais; on compte parmi elles M. Alexandre, d'Edimbourg, M. Davy, à Londres, le colonel Gow, à Livington, le professeur Morse, à New-York. Il est juste de dire cependant que les expériences de MM. Gauss et Weber sur la transmission des signaux par des procédés magnéto-électriques, expériences qui ont été répétées par M. le professeur Steinheil, de Munich, ont été faites avant les publications de MM. Wheatstone et Cooke. »

Que trouvons-nous dans le télégraphe de M. Wheatstone? Un grand progrès évidemment! Nous y voyons d'abord des signes télégraphiques obtenus, il est vrai, par l'action directe du courant voltaïque et la déviation d'aiguilles aimantées, ce qui est une imperfection réelle, mais ramenées à des indications tout-à-fait simples qui sont les lettres de l'alphabet manifestées par le point de convergence des aiguilles prolongées. Ce n'est plus ici le travail difficile d'écrivain imposé à une pauvre aiguille, comme dans le télégraphe de Steinheil, c'est une déviation simple, tranchée, obtenue avec tant de constance, d'infaillibilité, que l'appareil est devenu un instrument usuel fonctionnant avec la plus parfaite régularité : l'on rencontre enfin la télégraphie électrique réalisée. Mais il y a dans cette première patente un fait capital et tout-à-fait riche d'avenir, c'est le mode de communication du mouvement qui met en jeu le réveil ou l'alarme. Ici le courant n'agit plus directement à l'état de force vive, si je puis me servir de cette expression, il aimante seulement par son passage un morceau de fer doux : cet aimant passager attire un autre petit morceau de fer doux qui empêchait l'action d'un ressort permanent : l'échappement est devenu libre : un mouve-

ment d'horlogerie a mis en mouvement le marteau qui doit frapper le timbre. Tout cela est bien simple, bien petit en apparence, et sous cette petite apparence il y a une puissance comme infinie, il y a un monde de merveilles, il y a la facilité donnée à l'homme de mettre en action, à quelque distance que ce soit, toutes les forces de la mécanique, et d'obtenir par conséquent les effets les plus étonnants, les plus inattendus et les plus variés. On a réalisé déjà assez d'applications surprenantes de ce principe élémentaire pour que je puisse prouver qu'il n'y a aucune exagération dans l'appréciation que je viens de faire de cette partie ingénieuse du mécanisme de M. Wheatstone. Un très grave inconvénient de son premier télégraphe était la multiplicité des fils ; quatre fils, c'était beaucoup trop de complication et de dépenses, on n'était donc pas arrivé encore à la perfection, mais on était entré dans une si bonne voie qu'il n'y avait aucun doute que l'on parviendrait bientôt à l'atteindre. La perfection était même si clairement montrée dans un lointain peu éloigné que beaucoup d'esprits ardents s'élancèrent à sa poursuite.

M. Davy.

Le 4 janvier 1839, M. Davy prit à Londres une patente pour un télégraphe électro-magnétique dans lequel un échappement analogue à celui des horloges arrête ou détermine le mouvement d'un corps de rouages, selon qu'une pièce en fer doux qui y est adaptée est altérée ou laissée inerte par un aimant temporaire placé dans un circuit voltaïque : ces alternatives de mouvement et de repos font marcher un cylindre recouvert d'un papier sur lequel les signaux sont enregistrés par des points plus ou moins espacés. Il faut ajouter encore que les points étaient obtenus au moyen de l'action chimique du courant et de la décomposition de certaines substances. Dans la partie descriptive, je donnerai plus de détails sur le mécanisme de M. Davy ; mais n'est-il pas évident au premier aspect qu'il ne contient rien d'essentiellement neuf ? La mise en mouvement des rouages s'obtient par le procédé de M. Wheatstone, dont la gloire reste par conséquent intacte, puisqu'il est certain que la patente de M. Davy est bien postérieure à la sienne. D'ailleurs

le mode d'impression des dépêches à l'aide de l'action chimique du courant n'est pas du tout heureux.

M. Vorsselman de Heer.

J'ai énuméré déjà bien des modes de correspondance à distance obtenus par l'électricité. J'ai décrit le télégraphe électro-chimique, le télégraphe électro-optique, le télégraphe électro-acoustique, etc., voici venir à son tour le télégraphe électro-physiologique. M. Vorsselman de Heer avait cru pouvoir conclure des expériences des physiciens les plus renommés que les télégraphes électro-magnétiques, au point de vue économique du moins, étaient vraiment irréalisables; il lui semblait que le seul mode possible de télégraphie électrique devait reposer sur l'emploi des effets physiologiques de la pile : les signaux devaient, suivant lui, s'adresser, non à l'oreille ou à la vue, mais au tact.

Il résulte, disait-il, des lois découvertes par MM. Ohm, Pouillet, Faraday, etc., que les effets physiques et chimiques du courant électrique dépendaient de la quantité d'électricité qui traverse dans l'unité du temps la surface entière de la section du fil conducteur, car tous les éléments de cette section agissent à la fois aussi bien pour dévier l'aiguille magnétique ou aimanter le fer que pour séparer les éléments électro-chimiques du corps. L'effet thermique ou physiologique de l'électricité dépend uniquement, au contraire, de la quantité d'électricité qui traverse chaque élément de la surface de la section, puisque cet effet se manifeste dans l'élément même. On comprend facilement dès lors que les effets magnétiques sont en rapport direct avec l'intensité du courant, tandis que les effets thermiques et physiologiques sont proportionnels seulement à sa densité. En partant de ces principes, il est facile dans chaque cas particulier de déterminer l'appareil capable de produire à distance un effet électrique donné, et c'est en cela que consiste le problème de la télégraphie électrique considéré sous le point de vue le plus général. Supposons, par exemple, qu'on ait pu avec un élément d'un décimètre carré dévier à la distance d'un kilomètre l'aiguille d'un galvanomètre suffisamment sensible; pour produire le même effet à la distance de 100 kilomètres, il faudra évidemment

cent éléments voltaïques, chaque kilomètre en sus exigeant un nouveau couple. Cette pile donc de cent couples, dont l'entretien sera nécessairement dispendieux, ne pourra exercer sa puissance magnétique qu'à 100 kilomètres ou 25 lieues : or, sa puissance physiologique s'exercerait encore beaucoup plus loin. Il résulte, en effet, des belles expériences de M. Pouillet, que la résistance du corps humain, lorsque le courant le pénètre par les deux mains plongées dans le mercure, équivaut à une longueur de 8 lieues du fil pris pour terme de comparaison. Si le courant pénètre seulement par les deux doigts, la résistance sera représentée par 17 lieues du même fil. Dès lors, si une pile de vingt couples produit une commotion sensible dans ces deux doigts, une pile de quarante couples produira le même effet sur un ensemble de deux personnes, ou sur une seule personne placée dans un circuit de 77 lieues. Une pile de cent couples impressionnerait de la même manière une personne placée à 4 × 77 ou 154 lieues de distance, tandis qu'elle ne produisait qu'à 25 lieues l'effet magnétique dont nous avons parlé. On dira peut-être qu'en augmentant la sensibilité de l'appareil galvanométrique on pourra reculer les limites de l'action produite ; mais la sensibilité du galvanomètre atteindra-t-elle jamais celle des nerfs? Quel que soit l'électro-moteur que l'on emploie, l'action continue d'une pile, l'action discontinue d'une machine magnéto-électrique, les courants d'induction, etc., il sera toujours vrai, affirme M. Vorsselman, que la quantité d'électricité nécessaire à la production d'un effet physiologique sera toujours infiniment plus petite que celle exigée pour la déviation de l'aiguille la plus sensible.

Pour produire ses signaux à la distance de 2 lieues à peine, Steinheil employait une bobine entourée d'un fil de 36,000 pieds de longueur : or, avec une machine électro-magnétique dont la bobine serait entourée d'un fil de 1,500 mètres au plus, on peut causer une commotion très vive à une chaîne de quatre personnes, et par conséquent à une seule personne faisant partie d'un circuit de 32 lieues. Quels effets physiologiques n'obtiendrait-on pas avec l'appareil monstre de Steinheil ! Ces effets sont beaucoup plus intenses encore, comme tout le monde le sait, quand on emploie les courants d'induction secondaires. Avec une pile assez petite et une simple bobine

recouverte d'abord d'un fil ayant 29mèt. de longueur et de 1/35 de mill. de diamètre, puis d'un fil de 1,500 pieds de longueur, et de 3/10 de mill. de diamètre, on fait ressentir à quinze personnes à la fois une secousse fort sensible, et que ressentirait encore une seule personne à 77 lieues de distance. Et qu'on remarque encore une fois que, dans cette dernière expérience, le fil conducteur pourra être aussi petit que l'on voudra, et sera par conséquent peu dispendieux, tandis que lorsqu'il s'agit d'effets magnétiques, le fil conducteur doit avoir un diamètre assez grand, et coûter par conséquent très cher.

Après ces assertions préliminaires, fausses en partie, dont je lui laisse toute la responsabilité, M. Vorsselman de Heer arrive enfin à la description de son télégraphe physiologique. Il emploie dix fils : c'est beaucoup, c'est énorme; mais comme ils sont très fins, il y aura encore, dit-il, économie grande. Ces dix fils, à leurs extrémités, sont fixés à dix touches parfaitement égales, qui ne sont unies entre elles par aucune liaison métallique, et que l'on pourrait même isoler. Les deux appareils qui donnent et recouvrent les signaux étant parfaitement semblables, il suffira d'en décrire un seul.

Chaque touche est double, leur ensemble forme deux claviers placés l'un au-dessus de l'autre. La touche supérieure communique à la touche inférieure par une liaison métallique; on peut à volonté abaisser l'une par l'autre; elles viennent ensemble plonger dans deux vases pleins de mercure au moyen de fils de cuivre qui se recourbent perpendiculairement à leur extrémité; les vases pleins de mercure sont mis convenablement en communication entre eux et avec les pôles de la pile.

On voit que l'on peut par cette disposition communiquer une commotion ou secousse à deux quelconques des dix doigts, ce qui donne $\frac{10 \times 9}{2}$ ou quarante-cinq combinaisons différentes.

Les combinaisons qui se produisent lorsqu'on fait passer le courant à travers un doigt de la main droite et un doigt de la main gauche sont au nombre de vingt-cinq; elles peuvent avoir pour destination de désigner les vingt-cinq lettres de l'alphabet.

Ajoutons que les commotions des deux doigts ne sont pas égales. Le doigt dans lequel les nerfs sont parcourus suivant la direction

de leur épanouissement, c'est-à-dire le doigt par lequel le courant sort, est plus fortement ébranlé. Il arrive par là quelquefois que la commotion dans l'un des doigts est très sensible, tandis que l'autre doigt est à peine affecté ; on pare à cet inconvénient par un moyen très simple : quand on abaisse les deux touches, on ferme le circuit; on le rompt quand, laissant les deux touches abaissées, on retire les doigts; les courants secondaires produits dans cette seconde opération sont de sens contraires : le doigt le plus impressionné d'abord le sera moins ensuite, et réciproquement; il ne pourra rester de cette manière aucun doute sur les deux doigts qui ont reçu la commotion.

Les combinaisons qui répondent aux cas où le courant passe par deux doigts de l'une des mains, de celle, par exemple, qui repose sur les cinq touches du clavier supérieur, sont au nombre de dix ; on peut leur faire signifier les dix chiffres. Il restera encore dix autres signes qui pourront servir à noter la fin des mots, des phrases, de la dépêche ; à indiquer si la dépêche est destinée finalement à la station qui la reçoit actuellement, ou si elle doit être ultérieurement transmise ; si l'on reçoit réellement les signaux, etc.

On comprend maintenant le mécanisme entier de l'appareil. Si le second observateur B a reçu une dépêche, et veut y répondre, ce sera à lui à mettre ses gants pendant que l'observateur A mettra ses dix doigts sur les touches du clavier. En faisant subir aux touches une petite modification, l'observateur A pourra, s'il le veut, transmettre ces signaux à un troisième observateur C, immédiatement après les avoir perçus.

M. Vorsselman de Heer a fait construire son appareil par un organiste habile, M. Holtgreve, et il l'a fait fonctionner le 31 janvier 1839, dans l'une des réunions de la société de physique de Deventer. Tous les membres de cette société ont expérimenté ce mode de transmission des signaux et l'ont trouvé fort efficace. Les secousses étaient très sensibles ; avec un peu d'exercice on arrivait à transmettre et recevoir plus rapidement les signaux qu'on n'aurait pu le faire par aucun autre télégraphe. Toutes les personnes ne sentaient pas la commotion au même degré; mais en faisant varier l'électro-moteur, on les rendait perceptibles aux organisations les plus rebelles.

Jusque là le télégraphe n'était pas encore complet; il fallait que M. Vorsselman indiquât par quel moyen il rendrait l'observateur attentif à la dépêche qu'il s'agit de transmettre, car il aurait été absurde de le condamner à rester jour et nuit les doigts attachés aux touches des claviers. Pour atteindre ce but, il fait communiquer par un conducteur métallique les cinq touches de chaque clavier, lorsque le télégraphe ne fonctionne pas, et fixe à ces deux claviers deux fils suffisamment longs, qui se terminent par des cylindres ou des plaques de cuivre ou d'argent. Il suffira de tenir à la main ces deux cylindres, ou de fixer les deux plaques à une portion quelconque du corps, pour être averti par une secousse que l'on doit recevoir une dépêche. L'observateur, armé de cet appareil, pourra même se mettre au lit, la secousse sera toujours assez forte pour le réveiller. Il suffirait d'un anneau dont les deux moitiés seraient isolées, que l'on porterait au doigt, et auquel on attacherait les fils qui viennent du clavier pour appeler l'attention de l'observateur.

M. Vorsselman formule ainsi ses conclusions :

1° Le télégraphe électro-physiologique est le seul qui puisse être employé quand il s'agit de franchir des distances très considérables.

2° Même à de petites distances, le télégraphe physiologique a un avantage réel sur le télégraphe magnétique; les fils conducteurs qu'il emploie peuvent avoir un diamètre incomparablement plus petit, ce qui diminuerait les frais d'installation.

3° Le mécanisme du télégraphe physiologique est beaucoup plus simple, beaucoup moins coûteux. M. Morse évalue à 1,500 fr. l'appareil de chaque station; celui de M. Vorsselman ne coûterait complet que 200 fr. Comme la quantité d'électricité exigée pour obtenir des effets de commotion suffisants est beaucoup plus petite que dans le télégraphe magnétique, il y aura encore sous ce rapport une grande économie.

On me pardonnera d'être entré dans de si grands détails relativement à un projet qui au premier abord répugne entièrement.

La télégraphie électrique, en Angleterre, est arrivée à l'état adulte; mais une plus longue expérience manifestera peut-être des inconvénients secondaires. La question, si simple en apparence, des fils conducteurs soulève en ce moment en France de grandes difficultés. Les

fils employés jusqu'à présent sont en cuivre, et d'un assez gros diamètre : or, ils deviennent tellement cassants, qu'ils rendent le service de la ligne comme impossible ; au moment où l'on s'y attend le moins ils se brisent. Voici quelle serait en partie la cause de cette fragilité consécutive : sous l'action de la chaleur le cuivre s'allonge considérablement ; il se raccourcit quand la température diminue ; mais le raccourcissement est toujours moindre que l'allongement ; il y a donc un déplacement moléculaire, par suite duquel le fil s'amincit considérablement et finit bientôt par se briser.

Cet inconvénient a été si grave dans ces dernières semaines, que l'on est forcé de rejeter les fils conducteurs en cuivre qui ont coûté plus de 200,000 fr. Que leur substituera-t-on ? Des fils en fer : les effets de variations de température seront certainement moins sensibles, le déplacement moléculaire sera moins grand, le fil s'amincira moins ; mais n'est-il pas à craindre que, sous l'influence incessante du courant, la constitution intime du fer change, qu'il acquière une sorte de cristallisation qui lui enlèvera sa malléabilité, et le rendra plus cassant peut-être que le fil de cuivre ? Et d'ailleurs la conductibilité du fer est sept fois moins grande que celle du cuivre, la force électro-motrice devra donc être sept fois plus grande. Ne se peut-il pas que dans certaines contrées on soit condamné à n'employer pour conducteurs que des fils très fins ? Mais alors le télégraphe physiologique ne pourrait-il pas devenir une nécessité ?

Les fils de fer en Angleterre font un bon service. Il est certain que là aucun des inconvénients énumérés par M. Vorsselman de Heer ne s'est présenté. M. Vheatstone a construit sans peine des appareils électro-magnétiques qui ont donné la quantité d'électricité nécessaire pour obtenir tous les effets désirés ; la sensibilité des appareils galvanométriques est telle que, sur des longueurs de plus de trente lieues, les piles à effet constant ont parfaitement fonctionné. Sous ce rapport, par conséquent, les recherches du professeur de Deventer ont en ce moment moins d'intérêt ; mais qui oserait dire qu'elles n'en auront pas un très grand dans l'avenir ?

SIXIÈME ET DERNIÈRE ÉPOQUE.

M. Wheatstone, (*secundo*).

Les résultats étonnants auxquels M. Wheatstone était parvenu à l'aide de son premier appareil l'en couragèrent à le perfectionner; il y arriva dans un temps très court, et dès 1840 son télégraphe avait atteint le plus grand degré de simplicité. Je ne conçois pas qu'on ait essayé de rattacher l'invention de ce nouveau mécanisme au mois de juillet 1841, puisque dès 1840 le télégraphe perfectionné fonctionnait en grand sur des lignes de chemin fer.

Voici d'ailleurs un document authentique que l'on ne récusera pas. M. Quételet entretint l'Académie des sciences de Bruxelles, dans la séance du 17 octobre 1840, des expériences que M. Wheatstone venait de faire à l'observatoire royal, au moyen du nouveau télégraphe électrique de son invention. La note suivante a été insérée dans les comptes-rendus de l'Académie de Bruxelles, t. VII, deuxième partie, p. 131 et 132.

« Les nouveaux appareils, beaucoup plus simples que ceux que M. Wheatstone avait imaginés d'abord, transmettent les signaux avec la rapidité de la pensée, puisque dans l'espace d'une seconde ils pourraient faire six à sept fois le tour du globe. D'une autre part leur volume est si peu considérable, que l'appareil qui donne les signaux, celui qui les reçoit et la pile galvanique qui fournit la force motrice, peuvent être renfermés sans peine dans une caisse de moins d'un demi-mètre cube : leur prix ne s'élève pas au-delà de 25 livres sterling. Deux cadrans circulaires, placés aux deux stations extrêmes, et mis en rapport au moyen de deux fils conducteurs isolés, portent les diverses lettres de l'alphabet. En amenant successivement les lettres devant un indicateur, au moyen du cadran d'où partent les signaux, on fait que ces mêmes lettres se reproduisent instantanément devant un indicateur semblable, sur le cadran où les signaux sont reçus. Trente lettres au moins peuvent être transmises par minute, de manière que l'on fait immédiatement la lecture des mots.

» Lorsque les signaux vont être transmis, on a soin pour appeler dans la station opposée l'attention des personnes qui doi-

vent faire les lectures, de faire sonner un timbre ou alarme. M. Wheatstone a trouvé un moyen très ingénieux pour faire sonner à volonté, même la cloche la plus forte. Si le fil conducteur vient à se rompre, il fait reconnaître par un appareil très simple l'endroit où la rupture a eu lieu, lors même que le fil se trouverait caché sous le sol. Une longue expérience lui a fourni toutes les ressources nécessaires pour parer aux inconvénients qui peuvent résulter de l'établissement de ces télégraphes, qui du reste fonctionnent déjà en Angleterre depuis plusieurs années sur des étendues plus ou moins longues de chemin de fer.

» On sera sans doute charmé d'apprendre que l'auteur a trouvé le moyen de transmettre les signaux entre l'Angleterre et la Belgique, malgré l'obstacle de la mer.

» Sous le point de vue scientifique, les résultats qu'on peut recueillir des télégraphes électriques de M. Wheatstone sont immenses. Ainsi, pour les localités par où passera la ligne télégraphique, la détermination des longitudes, l'une des opérations les plus délicates de l'astronomie pratique, n'offrira plus la moindre difficulté. D'une autre part, d'après une disposition particulière, une pendule peut donner l'heure à toute une maison, à toute une ville, même à tout un pays. Les pendules auxiliaires qui marquent les heures, les minutes et les secondes aux mêmes instants que la pendule régulatrice ne se composent que d'un seul cadran : aussi M. Wheatstone les nomme *squelettes de pendules*, et il estime leur prix à une ou deux livres sterling. L'auteur compte aussi employer ses procédés pour mesurer avec une précision qu'il croit pouvoir porter à un centième de seconde la vitesse des projectiles. Il serait difficile de limiter les applications auxquelles se prêteront les ingénieux appareils de M. Wheatstone. »

Ainsi donc, cette fois un seul fil conducteur, aucun effet dynamique produit par l'action directe du courant, plus d'aiguilles déviées, etc., etc. Le courant n'a à produire par son passage que l'aimantation d'électro-aimants artificiels; ces électro-aimants attirent de petits morceaux de fer doux; ces petits morceaux de fer doux, déplacés pour revenir immédiatement à leur position première, sous l'action de petits ressorts, ont laissé agir des mouvements d'horlogerie; une des dents de chaque roue d'échappement a passé, tous

les cadrans mobiles qui portent les lettres et les manifestent à distance ont avancé d'un pas, et amené tous la même lettre devant l'indicateur. Ainsi les caractères à transmettre sont distribués sur la circonférence de la roue qui porte l'appareil électro-magnétique : on amène par la rotation de la roue celui des caractères que l'on veut à une position fixe et déterminée, aussitôt les cadrans mobiles le répètent aux deux extrémités de la ligne, comme à toute station intermédiaire où le fil télégraphique entourera un appareil indicateur.

C'est évidemment la perfection, et je ne comprendrais pas que l'on voulût essayer de le nier : aussi ne l'a-t-on pas fait ; on s'est contenté de disputer à M. Wheatstone la gloire de son admirable invention : et, comme l'entreprise était encore trop difficile, on a a fait mieux encore, on a organisé contre le créateur de la télégraphie électrique la persécution du silence. J'ai lu de longs articles où l'histoire des télégraphes électriques était écrite par des hommes habiles, et où le nom de M. Wheatstone n'était pas même prononcé. De longues communications ont été faites à ce sujet à l'Académie des sciences et à la Chambre des députés, sans qu'on ait rappelé, même en passant, les droits à la reconnaissance publique du savant ingénieux à qui la télégraphie électrique doit sa théorie, ses principaux progrès et sa perfection.

Je ne dirai que quelques mots des luttes ardentes et passionnées que M. Wheatstone a dû soutenir, luttes dont, en France, l'objet a été méconnu et le caractère défiguré.

Cooke et Wheatstone.

M. Cooke ne disputait pas à M. Wheatstone la priorité, le mérite et la gloire de son invention ; la querelle n'était au fond qu'une querelle d'amour-propre trop commune entre associés ; M. Cooke voulait que tous les appareils dont l'exploitation était précisément l'objet de la société constituée entre eux portassent à la fois les noms des deux associés : Wheatstone et Cooke. Le savant physicien repoussait cette prétention, parce qu'elle lui paraissait illégitime ; il voulait que son nom figurât seul sur les appareils exclusivement inventés par lui, et n'admettait la présence des deux noms que sur les instruments fruits de recherches communes.

Des arbitres furent nommés; parmi eux figurent des noms célèbres, ceux de Daniell et de Brunel; la paix fut rétablie entre les associés.

Les appareils qui, de fait, fonctionnent en Angleterre, ont conservé, par suite de l'arbitrage, le seul nom de M. Wheatstone. Des modifications importantes adaptées à certains besoins particuliers, à certaines circonstances spéciales, seront signées à la fois par MM. Wheatstone et Cooke ; d'autres modifications plus secondaires appartiendront enfin exclusivement à M. Cooke, qui n'est pas un physicien de renom, mais bien un homme d'action et un mécanicien habile qui, comme nous l'avons déjà rappelé, avait lui-même inventé un télégraphe qu'il abandonna pour exploiter en commun le brevet de M. Wheatstone.

Bain.

Arrivons à la controverse suscitée par M. Bain, qui n'était pas pour M. Wheatstone un associé, mais un ouvrier à gages. M. Bain a pris, le 6 février 1843 seulement, une patente pour un nouveau télégraphe dont voici les dispositions fondamentales. Le circuit est formé d'abord par la terre dans laquelle sont plongées aux deux stations deux plaques métalliques de cuivre. Sous l'influence du courant, de fortes hélices métalliques traversées par lui, et douées par conséquent d'une action magnétique, sont déviées par des aimants permanents placés dans leur voisinage. Dans ces conditions, les rouages des deux appareils sont arrêtés; mais aussitôt que le courant cesse, les hélices n'étant plus attirées, sont amenées par un ressort dans une position qui permet au rouage de marcher jusqu'au moment où le courant est rétabli. Dans chaque machine est un cadran portant les signes convenus pour les dépêches; et, en face de chaque signe, est un trou qui peut recevoir une cheville métallique. Le circuit est fermé, et le courant passe quand l'aiguille du cadran est en contact avec cette cheville, d'où il résulte que l'appareil marche aussi longtemps que l'aiguille et la cheville cessent de se toucher.

Si donc la cheville et l'aiguille étant en contact au zéro du cadran, on enlève la première pour la placer dans un des autres trous de ce même cadran, la machine se mettra en marche jusqu'à ce

que l'aiguille vienne toucher la cheville. Mais comme les deux machines sont absolument semblables, et que l'hélice de la première station est déviée en même temps que celle de la seconde, que son ressort la rappelle aussi au même instant pour laisser marcher son rouage, il en résulte que l'aiguille de la seconde station quittera son zéro en même temps que celle de la première, et s'arrêtera sur le même signe qu'elle, puisque le mouvement des deux machines cesse simultanément. Ajoutons que les choses sont disposées de manière qu'une roue portant en relief les mêmes signes que ceux du cadran, marche en même temps que l'aiguille, et qu'au moment où celle-ci s'arrête, un papier qui a également marché est pressé contre un tissu garni de noir de fumée interposé entre lui et la roue, dont le mouvement a amené le signe choisi au point où la pression s'exerce, et qui détermine l'impression de ce signe sur le papier.

Voilà la description assez fidèle du télégraphe de M. Bain, telle qu'elle nous est donnée par un des hommes les moins favorables à M. Wheatstone. Or, je le demande à tout lecteur impartial, ce télégraphe est-il fondé sur quelque principe nouveau? N'est-il pas une modification peu importante, très secondaire même, du télégraphe de M. Wheatstone, et l'esprit le plus pénétrant peut-il y voir quelque avantage réel? Évidemment non. Il y a cependant dans le travail de M. Bain quelque chose de nouveau que M. Wheatstone ne lui dispute pas : c'est l'impression de la dépêche à l'aide d'un second cadran indicateur, que l'on presse contre le papier chargé de noir de fumée ou de sanguine. Ce perfectionnement, si c'en est un, appartient réellement à M. Bain. M. Wheatstone, pour écrire les dépêches, recourait à un appareil distinct formé de vingt-quatre bandes ou ressorts portant des caractères en relief et de marteaux qui, en frappant individuellement chaque bande, imprimaient la lettre sur le papier en plusieurs exemplaires. Voilà surtout ce que M. Bain réclamait. Aussitôt que ses droits à la priorité ont été sous ce rapport bien reconnus, il s'est déclaré satisfait; il semble qu'il n'ait modifié certaines parties du télégraphe de M. Wheatstone que pour pouvoir éluder la patente prise depuis longtemps par ce dernier, et n'être pas forcé de se borner à l'exploitation de son mode d'impression.

MM. Wheatstone et Bain sont maintenant d'accord, un compromis règle leurs droits, et j'ai peine à deviner par quel motif on a

voulu montrer en France comme subsistante une querelle sans portée, assoupie depuis longtemps en Angleterre.

Il est bien plus ridicule encore de vouloir que la querelle de MM. Wheatstone et Bain ait eu pour objet la découverte du fait mal désigné sous le nom de conductibilité de la terre, et dont il résulte que la terre peut remplacer le fil de retour du courant, et même une portion du fil d'aller. Je n'ai pas vu sans surprise affirmer que M. Wheatstone prétendait aussi à cette découverte, ce qui est véritablement absurde. C'est à tort que M. Cooke la revendique sur M. Bain, car, qui ne sait que, dès 1803, Aldini avait prouvé par une expérience remarquable que le courant pouvait s'établir lorsqu'une partie considérable du circuit, 200 pieds, était formée par l'eau de la mer? L'expérience avait eu lieu à Calais, entre le fort Rouge et le môle de l'ouest; les personnes qui se placèrent dans le circuit reçurent des commotions très énergiques. Nous avons vu qu'en 1837, cinq ans avant l'expérience faite par MM. Bain et Wright sur la rivière Serpentine, au mois de juin 1842, M. Steinheil n'avait donné à son télégraphe qu'un seul fil conducteur, et que même il avait remplacé par la terre la moitié de ce conducteur unique. Les droits d'Aldini et de Steinheil ont été hautement reconnus par M. Wheatstone, qui, en 1840, répétait avec M. Jacobi, sur un des chemins de fer de l'Angleterre, l'essai du télégraphe électrique avec un seul fil. Il y a plus, M. Quételet a annoncé en 1840 que M. Wheatstone avait trouvé le moyen de transmettre les signaux entre l'Angleterre et la Belgique, malgré l'obstacle de la mer. Le si ingénieux physicien anglais n'est pas de ces hommes qui s'avancent témérairement, qui promettent ce qu'ils ne pourront pas tenir; il a déjà réalisé tant de merveilles plus difficiles à concevoir que cette correspondance à travers les mers, que nous sommes assurés de la voir s'établir sans trop de délais.

Voilà la vérité sur les discussions de M. Wheatstone avec MM. Cooke et Bain, discussions dont on a réveillé chez nous le souvenir dans un but tristement hostile à l'un des hommes qui ont le plus enrichi la science de découvertes vraiment originales. Il est donc vrai qu'il entre dans les destinées du mérite éminent de soulever une opposition mesquine, des haines aveugles et impuissantes. Toutes les inimitiés au moins n'empêcheront pas que de fait et par-

tout où la télégraphie électrique est réalisée, les appareils employés et qui donnent des résultats tout-à-fait satisfaisants, qui répondent pleinement aux besoins d'un service régulier, sont ceux de M. Wheatstone avec des modifications tout-à-fait secondaires, j'ose même dire insignifiantes, au moins sous le rapport du principe ; de sorte que, bon gré, mal gré, la solution du problème de la correspondance instantanée à distance très grande est liée essentiellement au nom désormais immortel du physicien anglais.

Nous ne parlerons pas des tentatives nombreuses faites depuis les derniers travaux de M. Wheatstone ; elles ne renferment certainement rien de neuf, et je ne crains pas de trop engager l'avenir en affirmant que les appareils de télégraphie électrique sortis des mains de M. Wheatstone sont arrivés à un si grand degré de simplicité et de perfection que quelques détails secondaires de construction, ceux qui tiennent au mouvement d'horlogerie par exemple, sont seuls susceptibles de quelques améliorations.

Établissements de lignes télégraphiques utiles.

On s'attend sans doute à trouver ici le récit abrégé des essais de télégraphie faits en Angleterre, en France et ailleurs.

M. Wheatstone avait répété au Collége de France, en 1837 et 1840, ses curieuses expériences en présence d'un grand nombre de savants, sans que de si étonnants résultats eussent excité assez l'attention pour qu'on songeât immédiatement à les reproduire en grand. Il était décrété que l'Angleterre nous précéderait de toutes manières dans cette magnifique application des sciences ; que nous consentirions encore cette fois à nous laisser traîner tristement à la remorque d'une nation rivale ; nous nous étions résignés de si bon cœur à accepter d'elle la navigation à la vapeur inventée par nous, à copier servilement ses chemins de fer ; nous avions même eu si bien le malheureux courage de nous laisser devancer par les plus petites nations ; nous avions, en un mot, fait preuve d'une si effrayante inertie, que, s'il faut s'étonner de quelque chose, c'est que nous ayons enfin un télégraphe électrique.

Cette découverte admirable, qui fait disparaître les distances que l'excessive rapidité des voies de fer ne diminuait pas encore assez, a fait, au contraire, en Angleterre des progrès rapides, et des lignes de

télégraphie électrique la sillonneront bientôt en tous sens. Bornées jusqu'ici aux chemins de fer, elles s'émanciperont sans trop de retard : les trois royaumes unis seront par elles comme concentrés en un seul point.

Je n'ai pas la prétention d'énumérer toutes les lignes de télégraphie électrique établies en Angleterre ; j'indiquerai seulement par quelques exemples choisis l'utilité immense de ce mode de communication instantanée : citons d'abord la ligne de Londres à Blackwall, l'une des premières établies.

Le service de ce chemin de fer exceptionnel, qui n'est guère qu'un plan incliné, se fait par deux machines fixes. Chacune d'elles tire une corde à laquelle les convois sont attachés. Un convoi part tous les quarts d'heure des stations extrêmes, tandis qu'un ou deux wagons partent de chaque station intermédiaire, pendant douze ou treize heures de la journée ; chaque jour, de cette manière, soixante convois environ parcourent le chemin de fer dans les deux directions. Chaque wagon est attaché par une agrafe à la corde qui doit l'entraîner dans son mouvement, et qui passe au-dessous de lui ; si le gardien ou le surveillant avait négligé d'accrocher son wagon à la corde avant qu'elle commençât à se mouvoir, il ne pourrait plus y parvenir ensuite ; un grand danger deviendrait imminent. Par cela même que le moteur ou la machine fixe est à quatre milles du convoi qu'il doit entraîner, il en résulte une grande et terrible incertitude sur l'instant capital où il commence à exercer sa force de traction. Pour obvier à ce grave inconvénient et prévenir bien des accidents, on a organisé le long de ce chemin un système complet de communication télégraphique à l'aide duquel les personnes de chaque station savent la situation précise du convoi et des wagons à toutes les autres stations.

Il y a à la station de Minories une salle appelée salle du télégraphe où est placée debout une caisse large à peu près comme une caisse de piano. Dans le compartiment inférieur de cette boîte est une petite pile de Volta avec zinc, cuivre et acide étendu d'eau, formant la source motrice à cette extrémité du télégraphe ; au-dessus, et sur la face antérieure de la caisse se trouvent différents cadrans munis chacun d'un index ou aiguille. Chaque indicateur porte un petit manche qui, mû par un employé, met la pile en

communication avec un petit aimant situé derrière l'aiguille, laquelle aussitôt est déviée à droite ou à gauche. A l'autre station extrême, ainsi qu'aux stations intermédiaires de Shadwell, Stepney, Limehouse, West-Indies-Docks et Poplar, sont d'autres appareils semblables aux premiers. Des fils de laiton enfermés dans des tubes de verre, et courant le long de la ligne, mettent en rapport tous ces appareils, de telle sorte que tous les index, déviant à la fois dans le même sens et de la même quantité, donnent à chaque station les mêmes indications. Si donc avec l'emploi d'un nombre suffisant d'index on convient d'un alphabet, on forme une table de signaux, ces signaux pourront être reproduits par les positions relatives des index.

Sur le côté de la boîte télégraphique et vers le haut, est suspendue une large carte contenant environ une centaine de phrases, d'instructions ou de questions dont chacune est reproduite par la position particulière des aiguilles. Ainsi, deux mouvements des manches indicateurs transmettent les questions suivantes : le convoi attendra-t-il le bateau à vapeur? Le bateau à vapeur attendra-t-il le convoi? Combien de passagers? Combien de wagons? etc., et une multitude d'autres relatives à l'état des machines, des cordes, des télégraphes, aux bateaux à vapeur qui partent de Blackwall ou qui y arrivent. Par cet échange de communication qui a lieu le long du jour, on obtient à la station de Londres tous les renseignements possibles sur ce qui se passe à Blackwall, et réciproquement, ainsi que dans les stations intermédiaires. Aussitôt que le chef de gare de chaque station a attaché les wagons à la corde, il en donne avis au mécanicien de celle des stations extrêmes vers laquelle le convoi s'avance, et celui-ci ne met la corde en mouvement que lorsqu'il a ainsi appris de toutes les stations que rien ne s'oppose à la progression du convoi.

L'exactitude de ce mode de communication est si absolue, sa régularité est si parfaite, que l'on a été conduit par là à examiner sous un nouveau point de vue certaines questions fondamentales relatives aux chemins de fer. Le plus grand nombre des lignes projetées ne donneront jamais, en France surtout, un intérêt suffisant pour les sommes dépensées dans leur exécution, à moins que ces dépenses ne soient réduites autant qu'il sera possible : aussi a-t-on proposé

de n'employer sur toutes ces lignes qu'une seule voie ou une seule couple de rails, avec des gares de croisement ou d'évitement de distance en distance; on suppléerait à la seconde voie par l'emploi du télégraphe électrique. Les défenseurs de ce système assurent qu'une seule ligne pourvue d'un télégraphe est non seulement plus économique, mais même plus sûre qu'une double ligne sans télégraphe, si l'on en excepte toutefois les lignes de grande communication, pour lesquelles une seule voie sera tout-à-fait insuffisante.

On peut voir par ce qui précède que le télégraphe de M. Wheatstone, alors même qu'il était encore dans l'enfance, rendait des services éminents, et fonctionnait d'une manière pleinement satisfaisante. Il fut employé sous sa première forme de télégraphe à aiguilles, et pendant un temps plus ou moins long, sur les chemins de fer du Great-Western, de Blackwall, de Manchester à Leeds, d'Edimbourg à Glascow, de Norwich à Yarmouth, de Dublin à Kingstown.

Nous citerons comme second exemple l'application du télégraphe perfectionné au plan incliné d'Aix-la-Chapelle. Le service de cette portion de chemin de fer ne demandait qu'un petit nombre de signaux ; on pouvait se dispenser sans inconvénient aucun d'employer l'alphabet entier du télégraphe complet, et limiter l'appareil à six signaux élémentaires. On a donc écrit sur le cadran ces six caractères, M, S, C, T, B, + initiales des mots qui expriment en allemand *machine*, *corde*, *train*, *télégraphe*, etc. Le cadran avait huit pouces de diamètre, et les caractères étaient assez saillants pour qu'on pût les lire facilement à une grande distance : l'aiguille, qui devait être très légère et conserver toujours sa forme première, était de mica noirci. La croix était destinée à indiquer l'état de repos de l'instrument; il ne restait donc que cinq caractères utiles, lesquels combinés deux à deux donnaient vingt-cinq signaux, nombre amplement suffisant pour le service du plan incliné. On avait établi en règle invariable que chaque signal serait composé de deux lettres suivies de la croix. Dès lors, si le télégraphe, venant à agir d'une manière irrégulière, la position finale de l'aiguille ou index marque, non la croix, mais un autre caractère, ce seul fait indiquera que les signaux précédents étaient fautifs. S'il arrivait donc, par conséquent, par un accident quelconque, que le signal reçu ne

s'accordât pas avec le signal transmis, il ne pourrait en résulter aucune méprise, aucun malentendu, parce que chaque dépêche porte avec elle-même son contrôle ou la manifestation de l'erreur commise. L'instrument était muni d'un mécanisme très simple à l'aide duquel on pouvait amener l'aiguille immédiatement devant une lettre quelconque sans lui faire parcourir tout le circuit. Comme il peut arriver qu'il faille transmettre un signal permanent ou qui persiste jusqu'à ce qu'une personne vienne le regarder, on peut employer pour cet objet la simultanéité des cinq caractères élémentaires.

L'appareil, à chaque station, se composait d'un télégraphe, d'un réveil ou alarme, et d'un commutateur destiné à changer la direction des courants. On pouvait disposer le circuit, de manière à atteindre divers buts sans qu'il fallût pour cela d'autres modifications qu'un changement dans la position des fils extrêmes et leur liaison avec le commutateur. Dans une certaine disposition, les télégraphes fonctionnaient tous simultanément dès que l'un des commutateurs était en action. On pouvait aussi tout arranger de manière que l'instrument d'une station ne fonctionnât qu'autant qu'il était en communication directe avec l'appareil d'une autre station. Cette dernière disposition est en général préférable, parce que, par ce moyen, on se débarrasse d'une résistance inutile. Ce télégraphe, alors même qu'on eût employé toutes les lettres de l'alphabet, n'aurait exigé qu'un fil.

Dès le commencement de 1842, M. Wheatstone avait établi à Berlin deux de ses télégraphes. La ligne de communication était un simple fil métallique supporté en plein air par des poteaux de bois; des plaques de métal attachées aux extrémités du fil complétaient le circuit. Le succès de ces appareils fut complet.

Dans cette même année, le célèbre professeur établit une correspondance électrique entre Kings-College et Shat-Tower, sur la rive opposée de la rivière. Le fil conducteur s'étendait le long des parapets de Somerset-House, du pont de Waterloo, et de là au sommet de la Tour, où l'un des télégraphes était placé. De là le fil descendait et se terminait par un plaque de zinc plongée dans la vase de la rivière; une plaque semblable, attachée à l'extrémité du fil de l'autre côté de la rivière, plongeait aussi dans l'eau, de telle sorte que le

circuit était ainsi complété par la largeur entière de la Tamise; c'était une modification importante en apparence, et cependant la correspondance fut aussi ponctuellement, aussi fidèlement transmise, que si le courant était revenu par le gros fil de cuivre.

Les faits que nous venons de rappeler étaient connus depuis longtemps, et l'on avait obtenu des télégraphes électriques les résultats les plus étonnants sans qu'on s'en émût en France. Rappelons quelques dépêches curieuses.

Au mois de janvier 1844, un assassinat fut commis à Salt-Hill, et l'assassin, s'étant rendu immédiatement à Slough, y prit une place pour Londres dans le convoi du chemin de fer qui passait à 7 heures 42 minutes du soir. La police, avertie du crime, était déjà à la poursuite du coupable. Elle arriva à Slough presque au moment où le convoi devait arriver à Londres. Mais le télégraphe électrique fonctionnait. Aussitôt on envoya à Paddington la dépêche suivante: « Un meurtre vient d'être commis à Salt-Hill. L'individu soupçonné d'être l'auteur de ce crime a été vu prenant un billet de voiture de première classe. » Trois minutes après, la réponse suivante arrivait à Slough: « Le convoi vient d'arriver: un individu, répondant sous tous les rapports au signalement donné par le télégraphe, est sorti du compartiment désigné. Il est arrêté. »

Il y a peu de temps, un convoi du chemin de fer avait apporté à Norwich la nouvelle de la chute du pont suspendu de Yarmouth. Qu'on juge de l'inquiétude et de l'effroi des habitants; ils avaient presque tous leurs enfants en pension à Yarmouth. Ils coururent en foule à la station du chemin de fer, demandant à grands cris des nouvelles de leurs enfants. « Tous les enfants sont sauvés, » dit le télégraphe électrique.

Le *Times* racontait dans son n° du 15 avril 1844, que la première nouvelle du retour d'Allemagne de son altesse royale le prince Albert, samedi dernier, parvint à sa majesté au château de Windsor par le télégraphe électrique. L'annonce de ce retour atteignait Slough une minute après l'arrivée du prince à Paddington. A cette station, un courrier spécial, qui stationnait là par ordre de la reine, monta le cheval le plus rapide des écuries de sa majesté, partit avec l'agréable nouvelle, et arriva à Windsor en 8 minutes et demie. De cette manière, la nouvelle du retour du prince royal parvint à sa ma-

jesté la reine d'Angleterre, près de laquelle se trouvaient alors le roi et la reine des Belges, moins de 10 minutes après l'arrivée du prince à Paddington, 40 minutes avant que le prince atteignît la résidence royale de Windsor.

On lisait enfin ces jours derniers dans le *Baltimore Advertiser*, journal américain : « Le télégraphe électro-magnétique établi entre Baltimore et Washington a donné des résultats qui dépassent toutes les espérances depuis que cette voie de communication a été placée aux mains de l'administration des postes. Au moyen du télégraphe, on transmet continuellement la correspondance entre les marchands des deux villes. Il arrive fréquemment que des ordres reçus ici pour Washington, à une heure de l'après-midi, sont exécutés de suite, et que les marchandises emballées sont prêtes à partir par le convoi de trois heures, ou encore que de petits paquets demandés à quatre heures et demie sont expédiés par le convoi de cinq heures, qui arrive à Washington à sept heures et demie. Il y a entre Baltimore et Washington une distance de 75 milles anglais, environ vingt-cinq lieues.

La magnifique invention des télégraphes électriques avait donc été reçue avec enthousiasme dans toute l'Europe : l'Amérique en retirait de grands fruits, et la France s'endormait dans son inertie. Bien plus, le gouvernement venait demander aux chambres des sommes considérables pour compléter et perfectionner sur plusieurs points les lignes télégraphiques ordinaires, si imparfaites, si dispendieuses; et même pour établir, avec des frais énormes, des télégraphes de nuit. S'obstiner ainsi à rester dans l'enfance de l'art quand le progrès apparaissait partout à l'âge adulte, c'était vraiment un spectacle affligeant. Les projets du gouvernement, vivement combattus par M. Arago, qui révéla à la France dans cette mémorable discussion les avantages incomparables du télégraphe électrique, furent heureusement repoussés : un autre savant, par nécessité de position sans doute, les avait soutenus. Il fut même amené, pour défendre une mauvaise cause, à présenter la correspondance instantanée obtenue par les courants électriques comme une brillante utopie qui ne se réaliserait jamais. Et cependant à l'heure même où cette malencontreuse assertion retentissait à la chambre des députés, le télégraphe électrique, devenu un appareil

tout-à-fait usuel, se jouait, grâce au génie de M. Wheatstone, de toutes les prévisions sinistres, et transmettait dans toutes les directions, avec la rapidité de la foudre, ses merveilleuses dépêches! Et cependant encore le savant qui se posait ainsi en travers du progrès, qui voulait faire rétrograder la science, était celui-là même qui, directeur du Conservatoire des arts et métiers, a reçu pour mission d'initier à toutes les découvertes modernes les nombreux auditeurs qui se groupent autour de lui. Il a depuis noblement pris sa revanche.

La protestation de M. Arago fut entendue, et l'on commença à s'occuper en France du télégraphe électrique. L'illustre secrétaire de l'Académie portait à cette époque le plus vif intérêt à M. Wheatstone. Déjà, lors d'une première vacance à une place de correspondant dans la section de physique, 7 juillet 1838, M. Arago avait usé de son influence pour faire admettre le professeur de King's College comme candidat, en dehors d'une longue liste arrêtée par la section. Une nouvelle vacance se présenta plus tard, 6 juin 1842, et M. Arago fit obtenir sans peine le fauteuil académique au créateur alors incontesté de la télégraphie électrique.

L'un des employés supérieurs de l'administration des télégraphes, M. Foy, fit l'année dernière une excursion en Angleterre, et se mit en relation avec M. Wheatstone. On traita sérieusement de l'établissement en France d'une ligne télégraphique; les droits de l'inventeur paraissant alors sacrés, on stipula le prix de la gratification qui lui serait donnée pour l'emploi de ses procédés et la fourniture des instruments. M. Arago, ami aussi empressé qu'appréciateur éclairé du vrai mérite, pressait M. Wheatstone de venir à Paris et de mettre à sa disposition ses ingénieux appareils. Pourquoi faut-il que M. Wheatstone n'ait pas répondu à ces flatteuses avances? On lui avait parlé d'expériences à faire, de sommes considérables à dépenser en essais; peut-être que cette annonce d'essais nouveaux froissa son amour-propre, trop facile à blesser chez un inventeur qui était arrivé pleinement à son but après huit années de travaux incessants. Pour essayer d'expliquer comment la susceptibilité du savant physicien anglais a pu se révolter à la pensée d'expériences à refaire, je citerai la note par laquelle il annonce l'établissement de son télégraphe sur deux chemins de fer à Paris.

« Le télégraphe électrique que j'ai eu l'honneur de soumettre à plusieurs membres de l'Académie en 1841, au Collége de France, grâce à la complaisance de M. Regnault, fonctionne depuis le commencement de cette année sur la ligne de Paris à Orléans pour les deux premières stations, et sur la ligne de Paris à Versailles, rive droite.

» Une communication télégraphique journalière est maintenant établie entre Paris, Saint-Cloud et Versailles.

» Les instruments actuellement en action à la gare de Paris consistent principalement :

» 1° En un réveil pour appeler l'attention du correspondant;

» 2° En un télégraphe qui présente tous les caractères de l'alphabet, au moyen desquels les mots peuvent être épelés et les signaux télégraphiques transmis, à raison de vingt-cinq signaux par minute;

» 3° En un télégraphe qui imprime à la fois plusieurs copies d'une dépêche en lettres ou chiffres ordinaires.

» D'autres instruments d'un usage spécial seront prochainement ajoutés à ceux qui précèdent.

» Sans entrer pour le moment dans une description détaillée de mes procédés, je me bornerai à faire remarquer que les appareils actuellement installés à Paris existent en Angleterre depuis 1837, et depuis 1840 dans leur dernière forme. Ils ont été soumis aux plus rudes épreuves et ils en ont toujours triomphé.

» On a fait parcourir aux signaux un chemin de 352 milles anglais, soit 140 lieues de France; et ils se sont transmis avec la plus parfaite régularité, soit que le courant électrique ait été excité par la pile, soit qu'il l'ait été par des électro-aimants.

» Au moment de quitter Paris, je viens me mettre à la disposition de ceux de messieurs les membres de l'Académie qui désireraient voir fonctionner mes appareils. Quoique j'aie eu le plaisir de recevoir la plupart des membres de cette illustre Académie, j'ai l'honneur de prévenir ceux qui n'ont pas encore vu mes appareils et qui voudraient les voir fonctionner, que je serai à leur disposition mardi 10 juin, de midi à trois heures, à la gare du chemin de fer de Versailles, rive droite, salle Nemours. »

M. Wheatstone prétendait avoir démontré théoriquement et ex-

périmentalement que l'on pouvait, par le télégraphe électrique, transmettre des dépêches à une distance de 140 lieues, et l'on disait hautement en France que les expériences exécutées en Angleterre ne prouvaient pas du tout que l'on pût faire communiquer d'un seul trait Paris avec le Havre. Pour mieux mettre en évidence ces dispositions des esprits parmi nous, citons encore les explications données à la chambre par M. Arago.

« Les télégraphes électriques semblent destinés à remplacer complétement les télégraphes actuellement en usage. Telle est l'explication naturelle de la détermination qu'a prise le ministre de l'intérieur de faire commencer les essais sur un crédit extraordinaire.

» Il fallait d'abord savoir si le courant électrique qui doit engendrer les signes télégraphiques s'affaiblirait d'une manière trop notable en parcourant de très grandes distances, telles que la distance de Paris à Lyon ; il fallait décider si, entre ces deux villes, des stations intermédiaires deviendraient indispensables. Les ingénieuses expériences déjà exécutées en Angleterre au moment où la commission commença ses travaux, les expériences faites sur le chemin de Black-Wall, par exemple, ne tranchaient pas la question.

» Notre point de départ fut celui-ci : peut-on transmettre le courant électrique avec assez peu d'affaiblissement pour que des communications régulières s'établissent d'un seul trait, sans station intermédiaire, entre Paris et le Havre ? »

M. Wheatstone ne dissimulait pas que ces doutes l'avaient offensé. Il ajoutait qu'on lui annonça assez brusquement que les brevets pris par lui en France n'avaient aucune valeur, qu'ils étaient forcément déchus, parce que le gouvernement se réserve chez nous le monopole des communications télégraphiques ; qu'on parla moins aussi de l'indemnité qui lui avait été promise ; qu'au lieu de s'adresser directement à lui, on voulut obtenir sans lui, de M. Clarke, les dessins de dispositions qui n'étaient pas dans le domaine public ; qu'on demanda que les appareils qu'il aurait à fournir produisissent 64 signaux élémentaires, ce qui, dans sa pensée, était se mettre en dehors des conditions d'une communication électrique parfaite, etc. Par tous ces motifs, il se tint malheureusement à l'écart et manifesta son mécontentement. Mais c'est le calomnier que de dire que ses prétentions allaient grandissant toujours, elles furent au contraire

très modestes : le chiffre de la gratification que l'amitié éclairée de M. Arago devait lui faire obtenir dépassait toutes ses espérances. Son refus de concours, inexplicable pour la commission, a fait seul que le *sentiment de bienveillance qui animait quelques personnages compétents en faveur de M. Wheatstone dut faire place à un sentiment contraire.* Il y eut donc séparation complète : M. Wheatstone n'a pas été invité à voir les essais télégraphiques de Paris à Rouen ; les membres de la commission, quoique appelés par lui, n'ont pas cru pouvoir visiter les appareils qu'il avait installés dans cette même gare où ils faisaient leurs expériences. C'était un triste spectacle, et je ne l'ai rappelé dans cette trop longue digression que pour en rendre le retour impossible, que parce qu'il a eu des effets funestes. Nos lignes de télégraphie électrique seraient bien plus avancées en France, si cette rupture n'avait pas eu lieu. La commission de Rouen, les adversaires de M. Wheatstone en conviennent eux mêmes, se serait épargné beaucoup de tâtonnements, elle aurait bien diminué ses dépenses si elle avait pu s'aider de la longue expérience et des lumières d'un savant qui avait déjà porté ses appareils à un haut degré de perfection. On ne dira pas au moins qu'elle a été mal inspirée par une vaine susceptibilité nationale, car son illustre président était heureux au contraire de pouvoir prouver dans cette mémorable circonstance que les savants anglais l'accusaient injustement de leur être moins favorable. Les membres éminents de la commission savent d'ailleurs, mieux que moi, que nos appareils derniers de télégraphie électrique seront, bon gré, mal gré, ceux de M. Wheatstone, devenus d'autant moins parfaits, je ne crains pas de le dire, qu'ils seront plus imprudemment modifiés. Le récit qui va suivre prouvera que l'appareil d'essai mis en œuvre par la commission de Rouen se composait au fond de deux appareils élémentaires de M. Wheatstone.

Avant de l'aborder, répétons encore qu'un rapprochement est devenu tout-à-fait nécessaire ; il est d'ailleurs facile. D'aussi nobles esprits, d'aussi nobles cœurs que MM. Arago et Wheatstone doivent nécessairement marcher unis dans la voie qui doit amener l'adoption définitive de la plus magnifique application de leurs découvertes scientifiques.

Arrivons enfin au résumé des travaux de la commission ; je l'em-

prunte en partie à une personne bien informée, à M. Boquillon : les deux articles publiés par lui dans le *Moniteur industriel* m'ont aidé dans la rédaction de mon travail. Si j'ai été amené à le combattre, c'est que sous l'impression louable, mais exagérée, d'une amitié froissée, il s'est montré à l'égard de M. Wheatstone plus que sévère.

« Le 30 janvier, on a commencé à tendre les fils de cuivre destinés à former le circuit ; ils ont 2 millimètres 1/2 de diamètre. Ces fils sont soutenus par environ trois mille poteaux en bois, dont trois cent vingt-quatre sont munis d'appareils de traction.

» Les autres n'ont d'autre fonction que celle de soutenir les fils, qui, ainsi que les poteaux, sont recouverts d'une couche de glu marine pour les isoler le plus possible du sol. Ils passent à chaque poteau sur des poulies en biscuit de porcelaine, où ils sont en outre abrités de la pluie par un petit toit pour empêcher l'humidité de les faire communiquer avec le sol.

» Le 1er mars, le double fil étant placé de Paris à Maisons, M. Bréguet et M. Gounelle, inspecteur de la ligne, commencèrent une série d'essais préparatoires qu'ils continuèrent successivement à des distances plus grandes, à mesure du placement du fil.

» Il est résulté de ces diverses expériences que la terre peut non seulement faire partie du circuit, mais encore que, dans cette condition, la même source électrique donne un courant beaucoup plus intense que lorsque le circuit est entièrement formé par le fil du métal.

» Dans cette dernière expérience, où la distance était de 17,000 mètres, une plaque étamée était plongée dans un puits à Paris, et une autre plaque dans la rivière à Maisons. Mais avant d'établir la pile dans le circuit, on constata qu'un faible courant le traversait. On crut d'abord que ce courant était dû à ce qu'une portion du fil de cuivre de 3 kilomètres environ, couchée sur le sol humide au-delà de Maisons, aurait formé un couple voltaïque cuivre et étain avec la plaque du puits de Paris ; mais plusieurs expériences faites postérieurement de Paris à Mantes ont donné des déviations sensibles sans l'emploi d'aucune pile, et par la seule immersion dans des puits des deux plaques communiquant avec l'un des fils.

» Enfin, le dimanche 4 mai, des signaux purent être échangés entre les stations de Paris et de Rouen, au moyen d'un appareil

formé d'un aimant temporaire en fer-à-cheval, entre les branches duquel était placée une aiguille aimantée, dont l'un des pôles était attiré par l'une ou l'autre branche, selon que l'on faisait marcher le courant dans un sens ou dans l'autre.

» M. Foy, administrateur en chef des télégraphes, désirait qu'il ne fût rien changé aux signes employés dans la télégraphie ordinaire, pour éviter de nouvelles études aux employés. M. Bréguet lui construisit, sur ses dessins, un appareil représentant un télégraphe en miniature, formé d'une branche horizontale immobile, et de deux petits bras mobiles autour des deux extrémités de cette branche, où ils peuvent prendre chacun huit positions différentes, à 45 degrés l'un de l'autre, ce qui fournit 64 signaux différents.

» M. Bréguet a disposé depuis un nouvel appareil dans lequel une petite branche additionnelle, placée au-dessus de la branche fixe, peut prendre, comme dans les télégraphes actuels, la position horizontale ou la position verticale, ce qui porte le nombre des signaux à 128. » On a de plus, dans ce nouveau mécanisme, tenu compte du courant; le dégagement de l'échappement peut se faire à droite ou à gauche, parce que le petit morceau de fil est attiré à droite si le courant marche dans une certaine direction, à gauche si le courant circule en sens contraire.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil général. « Le stationnaire qui envoie la dépêche a les mains sur deux manivelles montées chacune sur un axe portant une roue métallique, dont la circonférence est partagée en seize parties, dont huit sont en ivoire et pourraient être formées d'une autre matière isolante quelconque. Des ressorts métalliques faisant partie du circuit s'appuient sur la circonférence des roues. Le courant passe quand ils reposent sur une des portions métalliques des roues; il cesse quand il est en contact avec l'ivoire. Lorsque le courant passe, il aimante à l'autre extrémité deux aimants temporaires qui attirent des contacts en fer doux, mobiles autour d'un axe, et dont le mouvement fait marcher l'une des huit dents des rochets dont les axes portent les deux petits bras du télégraphe et leur font prendre une position à 45 degrés de la position précédente. Or, les choses sont disposées de manière que les positions des manivelles sur les roues coïncident toujours avec celles des manivelles sur les petits bras, qu'elles sont

chargées de faire mouvoir à distance, de sorte que dès qu'un signe télégraphique est produit à l'une des stations par la position des manivelles, il est reproduit à l'autre station par la position des petits bras du télégraphe.

» Le dimanche 11 juin 1845, les signes conventionnels à obtenir de l'appareil à aiguilles étant bien connus des membres de la commission, la première dépêche télégraphique fut transmise. M. Bréguet était à Rouen, et les autres membres de la commission à Paris. Rouen commença la conversation suivante :

» *Rouen.* — La commission est-elle rassemblée?

» *Paris.* — L'aiguille de gauche ne marche pas.

» *Rouen.* — Les nôtres marchent bien.

» *Paris.* — Les nôtres aussi. Donnez les déviations (c'est-à-dire les déviations mesurées en degrés de l'aiguille du galvanomètre mis dans le courant qui parcourt les deux fils).

» *Rouen.* — Fil supérieur, 30 degrés ; inférieur, 30 ; métallique, 15. (Quand la déviation était de 30 degrés, le circuit était fermé par la terre ; elle n'était que de 15 quand le circuit était fermé par un second fil.)

» *Paris.* — Comment va M. Bréguet?

» *Rouen.* — Bien ; il fume son cigare.

» *Paris.* — Combien d'éléments?

» *Rouen.* — Dix-huit.

» L'appareil à signaux fut ensuite mis en expérience et permit une nouvelle conversation entre les stations.

» Le temps employé à faire ces diverses communications peut se comparer à celui qui aurait été nécessaire pour les écrire à main posée, en caractères un peu gros.

» Le dimanche 18 mai, une nouvelle expérience officielle a eu lieu avec les deux appareils précédents et un appareil imaginé par M. Dujardin, de Lille. Il se compose d'un rouage d'horlogerie faisant tourner un cylindre enveloppé d'une feuille de papier, en même temps qu'il lui communique un faible mouvement de translation dans le sens de son axe, formé d'une vis dans son écrou, disposition analogue à celle de certains cylindres des orgues de Barbarie. Un aimant temporaire agit sur un levier en fer doux, dont l'autre extrémité est armée d'une plume qui trace sur le cylindre soit des

points, soit des lignes, selon que l'opération détermine plus ou moins longtemps le contact entre le levier et l'aimant temporaire. » Cet appareil est évidemment semblable à ceux de MM. Morse et Davy. Nous indiquerons plus tard comment il en difffère.

« Dans cette séance, les signes ne purent être transmis que de Rouen à Paris, l'action trop intense de la pile de Paris ayant rendu (dit-on) permanente l'aimantation de l'aimant temporaire de Rouen. »

On le voit donc, les débuts du télégraphe électrique de Paris à Rouen furent assez heureux; on put croire un instant qu'il était définitivement établi et qu'il pourrait servir à des communications qui ne seraient pas interrompues. Il n'en fut pas tout-à-fait ainsi : les dépêches furent transmises d'abord avec la plus grande facilité, et le télégraphe fonctionna d'une manière régulière; mais bientôt de nombreux accidents survinrent. Une fois, entre autres, la communication cessa d'exister entre Paris et Rouen; il fut également impossible, pendant plus de quinze jours, et de transmettre une dépêche, et de reconnaître la cause de cette impossibilité. Après ces quinze longs jours, on put correspondre de nouveau; mais bientôt, hélas! tous les inconvénients des fils conducteurs en cuivre se firent sentir, ils s'allongèrent démesurément, s'amincirent, cassèrent en beaucoup d'endroits; il a fallu les remplacer. La ligne télégraphique de Paris à Rouen n'est pas encore définitivement constituée : elle transmet néanmoins un grand nombre de signaux, et tout fait espérer que bientôt nous n'aurons plus rien à envier à l'Angleterre.

Le récit de ces accidents a inspiré à M. Burguière les réflexions suivantes, que nous avons déjà exprimées. « Si l'on avait pu avoir recours aux lumières de M. Wheatstone, on se serait épargné des essais inutiles et des dépenses sans fruit. Ainsi, peut-être, on eût préféré des fils de fer, beaucoup moins chers, et ayant, outre l'avantage de ne point tenter la cupidité, celui d'échapper à l'allongation qui résulte du poids et des propriétés du métal. Dans les appareils pour tendre les fils, on aurait dû éviter de faire porter la tension sur des pièces de bois, et on aurait trouvé qu'une pièce de fer avait à la fois l'avantage de transmettre le courant et d'offrir plus de résistance. Au lieu de mettre au-dessus de chaque poulie un petit toit latéral abritant seulement cette poulie, on aurait adopté des

pièces protégeant une partie du poteau dans toute sa circonférence; car il ne s'agit pas seulement ici d'augmenter la faculté isolante de la pièce de porcelaine, mais de conserver une partie annulaire du poteau toujours à l'état sec et d'empêcher l'électricité de se perdre par cette voie. Il est à craindre, en effet, que dans des temps très pluvieux, les toits protecteurs des poulies du télégraphe de Paris à Rouen ne soient pas suffisants pour empêcher cette perte. Quant à l'idée qu'a adoptée avec empressement la commission de former avec les aiguilles des signaux rappelant ceux qui sont en usage dans les télégraphes ordinaires, les avantages m'en paraissent assez illusoires. En effet, si l'on peut ainsi utiliser le personnel actuel du service avec son éducation spéciale, n'est-il pas préférable d'adopter un système qui n'exigerait aucune préparation, et qui permettrait le même secret pour les dépêches, si, au lieu de lettres, on adaptait au cadran des chiffres ou des signes d'une valeur convenue et qu'on changerait à volonté? »

Je partage l'opinion de M. Burguière. Après avoir vu fonctionner le télégraphe de Paris à Rouen dans des circonstances favorables, j'ai acquis la conviction qu'au lieu de faire les signes télégraphiques au moyen de deux appareils à aiguilles sur place, et par le mouvement de deux manivelles, il valait mille fois mieux dessiner tout simplement ces mêmes signes ou des signes analogues sur un appareil à cadran semblable à celui de M. Wheastone, et les montrer ainsi tout dessinés à l'autre station. J'avais dit qu'on ne modifierait un peu profondément le télégraphe du savant professeur de Kings-College qu'en le compliquant, c'est ce qui est arrivé sur la ligne de Rouen. Si l'on s'était arrêté à la simplicité du procédé anglais, et qu'on se fût servi immédiatement d'un appareil électro-magnétique beaucoup moins embarrassant, beaucoup plus facile à manier, beaucoup plus sûr que la pile, le stationnaire aurait vu dessiné très nettement sur la roue horizontale le signe télégraphique qu'il s'agit de transmettre, et l'aurait amené avec le doigt devant une pointe fixe par un simple mouvement de rotation; ce signe aurait été reproduit immédiatement et sur le cadran indicateur de Paris, et sur le cadran indicateur de Rouen; il aurait été transmis et lu. Voilà toute la manœuvre; un enfant, un ouvrier borné, peuvent la répéter. Dans le système adopté, le stationnaire, très exercé, doit avoir le

signe télégraphique sous les yeux et dans sa pensée; il doit, à l'aide de deux manivelles et en imprimant à ses deux bras des mouvements différents, le dessiner sur les deux roues; ce signe ne peut être reproduit à Rouen que par l'intermédiaire d'un double appareil de M. Wheastone, etc.; il y a donc, en dépit du vieil adage: *non sunt multiplicanda entia absque necessitate*, une multiplication de mouvements, d'appareils, de mobiles, de moteurs, etc., etc., et cela, je ne crains pas de l'affirmer, sans aucun avantage réel. Remarquons même encore un inconvénient assez grave qui n'a pas été signalé. Dans le mécanisme si ingénieux de M. Wheatstone, le stationnaire ne voit pas seulement devant l'index la lettre ou le signe qu'il veut transmettre, il le voit de plus après qu'il a pénétré dans le courant, si je puis m'exprimer ainsi; il le voit reproduit par le courant sur le cadran de sa station; le télégraphe fonctionne devant lui et pour lui, avant de fonctionner à la station extrême. Cette disposition ingénieuse lui sert de contrôle et lui donne une sécurité de plus qui n'existe pas dans le mécanisme de Rouen; car là les aiguilles de la station d'où part la dépêche ne répètent pas le signe transmis. Je crois donc que pour une multitude de raisons graves, l'administration des télégraphes devra renoncer au mode de reproduction mécanique des signes qu'elle a momentanément adopté. Le système à cadrans avec la transmission des signes télégraphiques dessinés d'avance sera d'autant plus avantageux : 1° que sur un même cadran on pourra, dans deux ou trois segments concentriques, disposer deux ou trois séries de signes, comme M. Froment l'a fait dans plusieurs des instruments qu'il a livrés; 2° qu'on pourra même, avec de très grands avantages, employer un plus ou moins grand nombre de cadrans portant tous des signes différents; quatre-vingt-douze cadrans, si l'on veut, pour correspondre aux quatre-vingt-douze pages du vocabulaire phrasique de l'administration. Remplacer un cadran par un autre sera une opération de quelques secondes; on indiquera par un signal particulier celui des cadrans que l'on doit installer actuellement, celui des segments dont les signes vont être transmis, et doivent, par conséquent, être remarqués et notés aux diverses stations.

Je crois encore que les membres de la commission auraient prévenu la rupture de leur fil et les inconvénients qui en ont été la

suite, s'ils avaient pu étudier avec soin une note technique insérée dans le *Mechanich Magazine*, livraison de juin 1843, p. 467. L'associé de M. Wheastone, M. Cooke, y donne en quelques pages tous les renseignements désirables sur la bonne installation des poteaux, sur le mode de tension des fils, etc., etc. Je citerai aussi comme renseignement à consulter la lettre suivante, écrite à M. Arago par l'un des physiciens qui ont le plus approfondi en France toutes les questions relatives à l'électricité : à ce titre, il aurait pu faire partie de la commission.

« La grande et belle expérience que vous allez faire sur la conductibilité des fils, dans l'établissement d'un télégraphe électrique, écrivait M. Pelletier à M. Arago ; le 6 janvier 1845, m'engage à vous communiquer deux faits qui s'y rattachent incidemment. Il y a douze ans environ, voulant suivre l'arrangement des molécules du plomb dans la réduction de l'acétate, j'employai, comme on le fait pour produire l'arbre de saturne, une lame de zinc placée au milieu d'une large spire d'un gros fil de Rosette ; les deux extrémités supérieures émergées étaient soudées pour former un couple voltaïque. Au bout de six mois ou d'un an, la portion immergée du fil de cuivre, très ductile dans son origine, devint tellement aigre, qu'elle se rompait sous le plus petit effort ; la portion émergée gardait à peu près sa ductilité, du moins elle la conservait plus longtemps. La cassure du fil aigre offrait un grenu terne, qui indiquait non seulement un nouvel arrangement moléculaire, mais encore une cémentation avec l'un des éléments de la dissolution.

» Le même fait de la fragilité des fils se représenta plus tard, lorsque j'eus établi des appareils électriques fixes au-dessus de ma maison. Ces appareils sont formés, comme l'on sait, de longs fils de Rosette tendus horizontalement, destinés à soutirer l'électricité de l'atmosphère pour la conduire au centre commun, après avoir traversé un rhéomètre. Ces fils ainsi exposés aux alternatives des saisons, des agents atmosphériques et aux courants électriques, devinrent aigres, cassants, et je fus obligé de les renouveler au bout de deux ans. Des fils argentés n'eurent pas plus de durée, des fils de laiton cassèrent au bout de six mois. Les conducteurs abrités gardent bien plus longtemps leur ductilité, et finissent cependant par s'aigrir sous l'influence d'un courant permanent.

» Je me propose au premier beau temps, et aussitôt que ma santé me permettra de parcourir les sommités du bâtiment, de renouveler tous les fils de mes appareils, en leur substituant des fils de Rosette bien recuits et parfaitement étamés. J'espère que la couche d'étain sera moins perméable aux agents extérieurs que le cuivre et l'argent, et que la cémentation qui vient en aide à l'effet de l'électricité sera atténuée en grande partie.

» J'ajouterai en terminant qu'il est inutile de tendre fortement les fils ; car une tension trop grande s'oppose à leur rétraction lorsqu'ils ont été dilatés, et la courbure du fil augmente à chaque alternative de température, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre les deux forces antagonistes ; l'extension mécanique d'une part, et la contraction de l'autre. »

Je doute que M. Peltier ait raison dans cette dernière recommandation ; on verra du reste dans la partie descriptive, quand je reproduirai la note de M. Cooke, ce que doit être la tension.

Il ne sera pas inutile de rappeler aussi le beau travail de Félix Savart sur l'allongement prodigieux des fils de cuivre sous l'influence des vibrations longitudinales. Il n'est pas douteux, que dans des conditions de tension imparfaite, les fils conducteurs des lignes télégraphiques doivent vibrer beaucoup ; c'est assez de ces vibrations, unies à leur poids, pour déterminer l'allongement et l'amincissement qui amènent nécessairement la rupture.

Je ne saurais enfin mieux terminer cette première section qu'en reproduisant la note suivante, dans laquelle un savant académicien, M. Lamé, résume les principes du télégraphe électrique de M. Wheatstone.

« Le télégraphe électrique utilise les découvertes les plus récentes de la science de l'électricité. Les savants qui connaissent ces découvertes admirent la simplicité et la perfection de l'appareil imaginé par M. Wheatstone ; ils ne s'étonnent pas que deux personnes placées à six lieues l'une de l'autre puissent s'interroger et se répondre avec presque autant de promptitude que si elles habitaient le même appartement ; ils savent qu'il en serait encore ainsi, lors même que la distance qui sépare les deux interlocuteurs serait dix fois, cent fois, mille fois plus grande. Mais les personnes étrangères à la science éprouvent le plus vif désir de comprendre les causes

d'un résultat aussi extraordinaire ; car, dans notre siècle, on ressent une sorte de malaise à voir se renouveler une énigme dont on ignore le mot.

» Il faut d'abord savoir ce que l'on entend par *un courant électrique*. Imaginez un fil métallique, de cuivre, par exemple, d'une longueur quelconque, contourné comme on voudra, et qui revienne sur lui-même. Une aiguille aimantée, celle d'une boussole, est suspendue librement au-dessus d'une partie du fil qu'on a redressée parallèlement à cette aiguille, c'est-à-dire du sud au nord. Quand l'aiguille s'écarte brusquement de sa position, en se dirigeant vers l'est ou vers l'ouest, sans qu'on l'ait touchée, sans qu'on en ait approché un aimant ou un morceau de fer, on dit qu'*un courant électrique parcourt le fil métallique*. Suivant que l'aiguille est déviée vers l'est ou vers l'ouest, le courant a lieu dans un sens ou dans le sens opposé.

» Par exemple, ces déviations de l'aiguille aimantée ont lieu lorsque les deux bouts du fil métallique sont respectivement en contact avec les deux extrémités ou avec les deux pôles d'une pile de Volta, source permanente d'électricité ; le courant électrique prend alors le nom de courant voltaïque ; le fil et la pile forment un circuit fermé, conducteur de l'électricité dans toutes ses parties, et qu'on appelle circuit voltaïque. Quand on coupe le fil ou quand une de ses extrémités cesse de toucher la pile, le circuit est ouvert ; l'aiguille revient à sa position naturelle ; la déviation s'annule, et le courant électrique n'a plus lieu.

» Autre exemple : si, en temps d'orage, l'un des bouts du fil métallique est à la pointe supérieure d'un cerf-volant très élevé, et que l'autre soit plongé dans un puits, l'aiguille suspendue est déviée tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Il y alors dans le fil des courants dus à l'électricité qui s'écoule des nuages vers le sol, ou qui s'élève du sol vers les nuages.

» Les courants électriques qui parcourent un fil métallique, et qui font dévier l'aiguille de boussole, ont aussi la propriété d'aimanter du fer doux ou pur. Il faut, pour cela, que le fil métallique, recouvert d'un ruban de soie, soit contourné plusieurs centaines, et même plusieurs milliers de fois, autour du morceau de fer. Alors, tant qu'un courant électrique, voltaïque ou autre parcourt le fil, le mor-

ceau de fer doux se comporte comme un aimant puissant : il attire du fer et le retient au contact. Mais aussitôt que le courant cesse dans le fil, le morceau de fer entouré perd son magnétisme, et ne peut plus rien retenir.

» Il suffit de connaître cette propriété pour comprendre l'appareil indicateur du télégraphe électrique. Un morceau de fer doux, en fer-à-cheval ou ayant la forme de la lettre grecque Π, est entouré par le fil métallique qui va d'une section à l'autre. Ce morceau de fer est disposé horizontalement; à une petite distance, en face de ses deux bouts, se trouve une petite lame de fer, qui est attirée quand un courant électrique, venant par le fil, aimante momentanément le fer entouré ; un ressort léger éloigne cette lame aussitôt que le courant cesse. A chaque alternative de ce double mouvement, une roue verticale à échappement, semblable à celle d'une horloge ordinaire, se meut d'un vingt-quatrième ou d'un trentième de tour. Un cadran en carton tourne en même temps que cette roue ; les vingt-quatre lettres de l'alphabet, et d'autres signes de convention, sont disposés circulairement vers la circonférence du cadran mobile. En établissant et en interrompant successivement un certain nombre de fois le courant électrique, on peut amener celui des vingt-quatre ou trente caractères que l'on veut, au point culminant du cadran, seul point que l'on observe. Là, on peut lire une demande, ou une réponse, en aussi peu de temps que l'on mettrait à épeler les mots qui la composent.

» Il nous reste à décrire le moyen que M. Wheatstone emploie pour établir et interrompre le courant autant de fois qu'il est nécessaire. La source d'électricité qu'il a choisie, et qui paraît la plus favorable, a été découverte par M. Faraday. Pour comprendre en quoi elle consiste, revenons au fil et à l'aiguille de boussole qui nous ont servi à définir le courant électrique. Imaginons que le fil métallique entoure un grand nombre de fois un morceau de fer doux. Lorsqu'on approche rapidement de ce morceau de fer un aimant puissant, on observe une déviation de l'aiguille qui indique dans le fil un courant électrique ayant un certain sens. Lorsqu'on éloigne rapidement l'aimant, la déviation a lieu de l'autre côté, et indique dans le fil un courant contraire au premier. Si l'aimant est en repos, la déviation est nulle, il n'y a pas de courant.

» Voici maintenant la description de l'appareil producteur dans le télégraphe électrique de M. Wheatstone. Un aimant artificiel ou d'acier trempé, en fer-à-cheval, est disposé horizontalement d'une manière fixe. Au milieu de l'intervalle qui sépare ses deux pôles se trouve un axe vertical de rotation. Un morceau de fer doux, en forme de Π, vertical, est mobile autour de cet axe, qui occupe le milieu de l'intervalle des deux branches parallèles. Le fil métallique entoure plusieurs milliers de fois ces branches mobiles. Dans une révolution complète, chaque bout de fer doux s'approche et s'éloigne successivement de chacun des pôles de l'aimant fixe.

» Or, d'après le fait énoncé ci-dessus, le fil métallique doit être le siége d'un courant électrique qui change de sens à chaque demi-révolution. Mais, par une disposition particulière, le fil télégraphique, ou celui qui va d'une station à l'autre, n'admet le courant que lorsqu'il a lieu dans l'une des deux directions ; le courant inverse est reçu par un fil plus court, qui complète momentanément le circuit, à l'endroit même de l'appareil producteur. De là résulte qu'à chaque révolution complète du fer doux, le fil télégraphique transmet un courant électrique, lors de la première demi-révolution, lequel courant s'interrompt pendant la seconde.

» L'opérateur a devant lui une roue horizontale qu'il fait mouvoir à la main, et qui tourne autour d'un second axe, lié au premier par deux roues d'engrenage. Cet engrenage est tel qu'à chaque révolution de la roue à la main, le fer doux fait 30 tours, si 30 est le nombre des caractères dont on fait usage. Ces caractères sont distribués sur la circonférence de la roue, et il suffit d'amener par sa rotation celui des caractères que l'on veut, à une position fixe et déterminée, pour que le cadran mobile le répète à l'autre extrémité de la ligne, comme à toute station intermédiaire où le fil télégraphique entourera un appareil indicateur. On comprendra facilement qu'un seul fil, revenant sur lui-même, puisse entourer autant d'appareils indicateurs et producteurs que l'on voudra, et transmettre ainsi, dans tout le circuit ou sur toute la ligne, une dépêche partant d'une station quelconque.

» Nous ne dirons rien ici du mécanisme par lequel le courant électrique met en mouvement un timbre d'horlogerie, pour avertir le stationnaire qu'une dépêche va se transmettre, ni de l'appareil qui

peut imprimer la dépêche. Tous ces accessoires n'ont rien qui doive surprendre, quand on comprend les principes que nous venons d'énoncer.

» Il avait paru nécessaire que le fil télégraphique formât un circuit fermé, c'est-à-dire qu'il parcourût deux fois toute la ligne. Mais l'expérience a prouvé qu'il y a même de l'avantage, sous le rapport de l'intensité des courants transmis, à n'employer qu'un seul fil, si l'on a soin de faire aboutir ses deux extrémités dans les couches humides du sol. La terre agit-elle ici comme conductrice de l'électricité, en complétant le circuit entre les deux stations extrêmes? ou bien le courant s'établit-il dans nn fil unique ayant deux bouts libres, comme dans le fil métallique allant des nuages au sol, en temps d'orage? C'est ce qu'il paraît difficile de décider aujourd'hui. Qu'importe d'ailleurs? le fait existe.

» La longueur de la ligne télégraphique est à peu près indifférente. Si le fil s'étendait du Havre à Marseille, il n'y aurait d'autre modification à apporter que d'accroître la puissance de l'aimant fixe, la grosseur du fil et le nombre des spires autour du fer doux. Quant à la rapidité de transmission des dépêches, elle serait la même. Car, le fil développé eût-il 100,000 lieues de longueur, le courant électrique produit à l'une de ses extrémités ne mettrait pas une seconde de temps pour se propager jusqu'à l'autre. Cette vitesse, qui surpasse celle de la lumière dans l'espace, et qui paraissait inappréciable, a néanmoins été mesurée, il y a quelques années, par M. Wheatstone lui-même, à l'aide de moyens nouveaux qui ont fait connaître à l'Europe savante le haut mérite de l'inventeur. »

SECONDE SECTION.

Histoire des applications diverses du principe de la télégraphie électrique.

Quand une force motrice a été comme créée, quand l'on est parvenu à transmettre son action à des distances quelconques avec une incommensurable vitesse, quand on a pu à volonté la multiplier en quelque sorte indéfiniment, quand surtout on est arrivé à l'aide de cette force transmise instantanément et indéfiniment multipliée,

à mettre en jeu toutes les autres forces de la nature, on s'est ouvert un champ immense, et l'imagination la plus active serait impuissante à prévoir et à énumérer les résultats merveilleux et inattendus que l'on réalisera successivement. Volta découvrit en 1800 le courant voltaïque; Œsterd mit en évidence sa force motrice; M. Arago transforma cette force et lui créa comme des issues nouvelles en constatant ses effets d'aimantation; on s'assura presque dès l'origine qu'elle se transmettait dans un instant indivisible à travers des circuits démesurément longs; M. Wheatstone détermina la limite inférieure de la vitesse avec laquelle cette force se propage; il avait démontré en 1843 qu'elle pouvait produire presque instantanément des effets sensibles à la distance de cent lieues; plus tard, le célèbre professeur de King's-College montra comment, à l'aide de cette action exercée à une distance quelconque, ou pouvait mettre en jeu l'élasticité des ressorts, la pesanteur, etc., etc. Un avenir prochain verra sortir de cette mine profonde des trésors qu'il n'était pas possible de soupçonner. Les applications dont je vais tracer l'histoire dépassent déjà toutes les prévisions et toutes les espérances humaines.

PREMIÈRE APPLICATION.

Système de sonnettes mises en mouvement par le courant électrique.

Dès que M. Wheatstone fut parvenu, par les procédés si ingénieux que nous avons décrits, à faire sonner le réveil ou l'Alarme des télégraphes électriques, il lui fut comme impossible de ne pas remarquer que ce mécanisme pourra s'utiliser partout où l'on voudra faire sonner à distance une cloche ou timbre quelconque. Ainsi prit naissance le système de sonnettes dont nous parlons. Il fut immédiatement employé dans la chambre des communes et dans plusieurs autres établissements publics; l'appareil moteur est tantôt une pile, tantôt une machine électro-magnétique. Cette application curieuse prendra tous les jours une nouvelle extension. On pourra faire sonner ainsi des cloches même très pesantes, sans qu'on ait besoin d'imprimer un mouvement aux fils de communication, sans qu'on ait recours à aucun levier. Il suffira de fils très fins qu'on ne sera pas forcé de tendre, qui pourront

suivre tous les détours imaginables, et d'une petite pile à effet constant, dont l'action se continuera pendant un mois entier sans qu'on ait besoin d'y faire la plus petite attention. Cette pile produira la force nécessaire pour mettre en mouvement avec une très grande économie toutes les sonnettes du plus vaste établissement.

DEUXIÈME APPLICATION.

Impression des dépêches télégraphiques.

Nous avons déjà dit comment on arrivait à imprimer les dépêches en substituant au disque de papier, sur la circonférence duquel sont indiquées les lettres, un disque mince de cuivre ou de bronze, divisé du centre à la circonférence, de manière à former vingt-quatre ressorts sur les extrémités desquels on place des caractères ou poinçons. Un mécanisme additionnel, dont la détente est mise en mouvement par un électro-aimant, force un marteau à appuyer le poinçon contre un cylindre autour duquel s'enroulent plusieurs couches alternatives de papier blanc et de ce papier noir à calquer dont on se sert dans divers appareils. On obtient ainsi, sans créer aucune résistance nouvelle à la roue motrice, un certain nombre de copies imprimées du message transmis. Nous avons ajouté que M. Bain avait modifié ce mécanisme en se servant pour l'impression du cadran indicateur lui-même, qu'il presse à propos contre le papier.

TROISIÈME APPLICATION.

Horloge électro-télégraphique.

Le *Bulletin de l'Académie de Bruxelles* constate qu'avant le 8 octobre 1840, M. Wheatstone avait appliqué le principe de son télégraphe à faire lire simultanément en un grand nombre de lieux l'heure donnée par une seule horloge régulatrice, ou, en d'autres termes, qu'il était parvenu à télégraphier l'heure comme il avait télégraphié l'expression d'une pensée ou volonté quelconque. Dans ce but, la roue destinée à former ou à rompre le circuit, au lieu d'être mise en mouvement au moyen du doigt, comme dans le télégraphe, est rendue extrêmement légère, et reçoit sa rotation

de l'arbre d'un mouvement d'horlogerie; les aiguilles du cadran fixe placé à distance sont mues par le même moyen absolument que le cadran du télégraphe. Les fils qui établissent la communication entre l'horloge et l'instrument qui doit répéter ou réciproquer son mouvement peuvent, comme dans le télégraphe électrique, avoir toute longueur voulue, et l'on pourra comprendre dans le circuit un nombre quelconque de ces instruments répétiteurs. L'horloge électrique de M. Wheatstone fut présentée et décrite pour la première fois dans une des réunions de la Société royale, au mois de novembre 1840; ce moyen d'indiquer en divers lieux l'heure donnée par un régulateur unique a été constamment mis en usage depuis ce jour dans King's-College et ailleurs. La notice suivante, publiée alors dans les *Procedings* de la Société royale, donnera une idée assez complète de cet ingénieux mécanisme.

« Le but de l'appareil qui est l'objet de la communication de M. Wheatstone est de rendre une seule horloge propre à indiquer exactement en différents lieux, aussi distants l'un de l'autre qu'on voudra, l'heure donnée par une seule et même horloge. Dans un observatoire, par exemple, chaque cabinet pourra être fourni d'un appareil très simple dont la construction sera très peu sujette au dérangement, d'un prix très modique, et qui indiquera l'heure, la minute, la seconde; battra même chaque seconde aussi régulièrement que la pendule astronomique avec laquelle on l'aura mise en relation. On parera de cette manière à la nécessité d'avoir plusieurs horloges de grand prix; l'on diminuera les embarras qu'entraînent les allées et les venues, on échappera à l'obligation de régler séparément chaque horloge sur le mouvement des astres.

» De cette manière encore, dans de grands établissements ou dans des administrations très nombreuses, il suffira d'une bonne horloge pour indiquer l'heure dans toutes les parties de l'édifice où cette indication pourra être nécessaire, avec une exactitude qu'il serait impossible d'obtenir d'horloges distinctes, et avec une dépense beaucoup moins considérable. On pourrait énumérer un grand nombre d'autres circonstances où cette invention réalisera de très grands avantages.

» Dans les horloges ou cadrans électriques mis en mouvement dans les divers appartements de la Société royale, on n'employait

aucune des pièces dont on se sert ordinairement pour maintenir et régler la force motrice ; chaque appareil se composait d'un simple cadran, ayant ses aiguilles des heures, des minutes et des secondes, et de l'ensemble des roues par lequel, dans les horloges, l'aiguille des secondes communique le mouvement aux aiguilles des minutes et des heures. Un petit électro-aimant est destiné à rendre libre une roue d'une construction toute spéciale placée sur l'arbre de l'aiguille à secondes, de telle sorte qu'à chaque fois que le magnétisme temporaire est produit ou détruit, cette roue, et par conséquent l'aiguille des secondes, avance de la soixantième partie d'une révolution entière. Il est évident dès lors que si l'on parvient à établir et à rompre un courant électrique, dans des circonstances telles que l'ensemble d'une reprise et d'une cessation dure une seconde, ce qu'il est facile d'obtenir au moyen du régulateur ou horloge parfaite dont on veut multiloquer les indications, l'appareil-cadran ci-dessus décrit, quoique dépourvu de toute force régulatrice constante, remplira pleinement à son tour l'office de régulateur parfait.

» On peut obtenir de la manière suivante que la marche des deux aiguilles à seconde sur le régulateur et les divers cadrans reproducteurs soit tout-à-fait simultanée. Sur l'axe qui porte la roue d'échappement de la première horloge on fixe un petit disque de bronze dont la circonférence a été préalablement divisée en soixante parties ; on entaille alternativement de deux en deux les divisions, et l'on remplit les vides de morceaux d'ivoire ou de bois isolant. Un ressort en cuivre extrêmement léger, vissé à un morceau de bois dur ou d'ivoire, et qui, par là même, n'est nullement en contact avec les parties métalliques de l'horloge, repose par son extrémité libre sur la circonférence du disque ; un fil de cuivre attaché à l'extrémité fixe du ressort se lie à l'un des bouts du fil d'un électro-aimant, tandis qu'un second fil attaché au timbre de l'horloge vient rejoindre le second bout du même fil. Une pile à effet constant, de dimensions très petites, s'interpose dans une portion quelconque du circuit. Dans cet arrangement, le courant est périodiquement fermé et rompu aussi souvent que le ressort a reposé d'abord sur une division en métal, puis sur une division en bois, c'est-à-dire à chaque seconde. Le courant peut d'ailleurs être transmis à travers une lon-

gueur quelconque, et un nombre quelconque aussi d'appareils électro-magnétiques peut de cette manière répéter toutes les indications de l'horloge régulatrice. Il faut seulement faire observer que la force de la pile, que le rapport de la résistance du fil de l'électro-aimant et celles des fils du reste du circuit, doivent varier dans chaque cas particulier, si l'on veut obtenir le maximum d'effet avec la plus petite dépense de force. »

En terminant son mémoire, M. Wheatstone indiquait plusieurs moyens différents par lesquels on pouvait atteindre le même but. Un de ces moyens consistait à employer les courants d'induction découverts par M. Faraday, au lieu du courant direct d'une pile voltaïque.

Il décrivait aussi une modification du moteur sympathique étudiée de telle sorte que le mouvement pouvait se propager à de grandes distances avec un bien plus faible courant que dans la première disposition.

Je viens d'attribuer à M. Wheatstone la réalisation des horloges électriques et de l'impression des dépêches télégraphiques : or, cette double gloire lui a été vivement contestée par M. Bain, et il m'est impossible de ne pas entrer à ce sujet dans quelques détails. Je le ferai avec pleine connaissance de cause ; car d'une part j'ai eu la patience de lire jusqu'au bout le manifeste du chevalier Finlaison, défenseur acharné des prétendus droits de M. Bain ; de l'autre j'ai entendu M. Wheatstone. Ceux qui ont donné tant de retentissement en France aux réclamations et aux plaintes amères de M. Bain n'ont été ni aussi heureux ni aussi courageux que moi. S'ils avaient lu au moins le titre du factum qu'ils avaient entre les mains, ils n'auraient pas laissé soupçonner que M. Bain prétendait disputer à M. Wheatstone la découverte de la télégraphie électrique. Cet ouvrier intelligent n'a pas poussé si loin l'orgueil ; il se pose seulement comme le premier inventeur du télégraphe électro-magnétique, imprimant les dépêches, et de l'horloge électro-magnétique. Voici, en effet, le titre de son apologie : *An account of some remarkable applications* of the electric fluid to the useful arts, by *M. Alexander Bain, with a vindication of his* CLAIM *to be the first inventor of the electro-magnetic* PRINTING *telegraph, and also of the electro-magnetic clock.* Examinons ses titres à cette double décou-

verte. Il fait d'abord affirmer par un horloger de ses amis, M. Dowall, que lui, Bain au printemps de 1838, avait annoncé qu'il voulait appliquer l'électricité au mouvement des horloges; qu'il pouvait faire marcher simultanément un nombre quelconque d'horloges par des procédés électriques, sans ressorts ou balancier. Admettons cette déclaration d'ami, quoique, d'après les règles posées par M. Arago, on dût la repousser; elle ne prouve en aucune manière que M. Bain, avait conçu alors l'idée de l'appareil que nous avons désigné sous le nom d'horloge électro-magnétique, puisque cet appareil suppose essentiellement une première horloge régulatrice avec *ressorts et balancier*. Viennent ensuite deux autres amis, MM. Pinkerton et Laurie, qui déclarent, avec M. Dowall en 1842, qu'en juin et juillet 1840, ils avaient vu chez M. Bain des modèles de l'horloge électro-magnétique et du télégraphe imprimant les dépêches. Ce sont encore de simples témoignages d'amis; n'importe. M. Bain enfin, mis en rapport avec M. Wheatstone par l'intermédiaire de M. Baddelay, affirme sur tous les tons et sous toutes les formes qu'avant sa première visite, qui eut lieu le 1er août 1840, le célèbre professeur de King's-College n'avait pas eu la moindre idée du procédé d'impression des dépêches et de l'horloge électro-magnétique; que du moins il n'avait à cet égard aucun plan arrêté, tandis que lui, Bain, avait dès lors construit deux modèles, qu'il apporta à une seconde entrevue, et qu'il refit ensuite avec l'argent de M. Wheatstone. Ajoutez à cela l'accusation mille fois répétée de non paiement d'un salaire convenu, et vous aurez dans l'ensemble et les détails les moyens d'attaque de M. Bain.

Ecoutons maintenant la défense. Le 18 juin 1842, M. Wheatstone écrivait la lettre suivante au rédacteur de *Litterary Gazette*, en réponse à une lettre de M. Bain, publiée le samedi précédent.

« M. Bain affirme que je ne suis pas l'inventeur de l'horloge électro-magnétique, et que je n'oserais pas réclamer publiquement cette découverte comme mienne. Je réponds que, le 26 novembre 1840, j'ai lu à la Société royale un mémoire descriptif de cette invention, que je m'attribuais; j'ajoute que le soir de ce même jour l'horloge électro-télégraphique fut mise en mouvement dans la bibliothèque de la Société, et y fonctionna pendant plusieurs jours. Un extrait de mon mémoire fut publié dans les *Proceedings* de la

Société royale, et le *Litterary Gazette* du 28 annonça l'objet de ma communication. Ce fut seulement au mois de janvier suivant qu'une note à moi adressée par M. Barwise, qui se posait comme inventeur, m'apprit que mes droits à cette découverte étaient contestés. Quelque temps après, cette même invention fut signalée dans les placards et les annonces de l'*Exhibition polytechnique* comme appartenant en commun à MM. Barwise et Bain. Ce dernier est un ouvrier mécanicien que j'avais employé dans les mois d'août à décembre 1840.

» On ne peut donc révoquer en doute que le premier j'ai fait connaître cette découverte en la réclamant pour moi, et il me reste à réfuter l'assertion par laquelle M. Bain prétend qu'il m'aurait communiqué cette invention au commencement d'août 1840, c'est-à-dire trois mois avant ma publication. Je réponds d'abord qu'il n'y a aucune différence essentielle entre l'horloge télégraphique et l'une des formes que je donnai au télégraphe électro-magnétique inventé par moi, et décrit dans la spécification de la patente qui nous a été garantie à M. Cooke et à moi en janvier 1840. L'horloge est une des nombreuses et évidentes applications que l'on peut faire du principe de la télégraphie électrique; il suffisait pour qu'elle fût réalisée que l'idée de télégraphier le temps s'offrît à l'esprit, et cette idée pouvait se présenter facilement à toute intelligence ordinaire. Quand on télégraphie des dépêches, la roue qui doit fermer et rompre le courant, le rhéotome, est mise en mouvement par le doigt de l'opérateur. Quand il s'agit de télégraphier le temps, le rhéotome tourne avec l'arbre de l'horloge : voilà toute la différence. La question est donc ramenée à ces termes : l'idée d'appliquer mon invention première à télégraphier le temps est-elle pour moi une idée propre, ou m'a-t-elle été suggérée par M. Bain? J'ai simplement à prouver que longtemps avant la date mise en avant par M. Bain, j'avais expliqué à plusieurs de mes amis de quelle manière je prétendais modifier mon télégraphe, pour arriver à montrer l'heure d'une première horloge donnée, dans toutes les chambres d'une maison ou dans toutes les maisons d'une ville. Parmi ces amis, ceux dont les noms suivent ont pu, en raison de circonstances diverses, me rappeler exactement la date des communications que je leur fis : ce sont MM. Airy, astronome royal; le docteur

W.-A. Miller, de King's-College; John Martin, artiste éminent, et F.-O. Ward, ancien élève de King's-College. Je puis ajouter aux déclarations précises de ces hommes honorables, la réponse faite immédiatement à la lettre que M. Bain fit insérer dans le *Inventors advocate*, par M. Lamb, un des ouvriers mécaniciens employés par moi, réponse dans laquelle M. Lamb prouvait invinciblement que l'assertion émise par M. Bain était inadmissible, puisque lui, M. Lamb, avait reçu de moi, dès le 6 janvier 1840, c'est-à-dire plus de six mois avant la prétendue communication de M. Bain, toutes les instructions nécessaires à la confection de l'horloge télégraphique.

» Je répète hardiment que je ne suis redevable en aucune manière à M. Bain ni de l'idée ni des détails de l'horloge télégraphique, et vous conviendrez, je l'espère, monsieur le rédacteur, que j'ai pleinement réfuté ses assertions.

» J'arrive maintenant au télégraphe imprimant les dépêches. Cette découverte consiste principalement dans une addition au télégraphe magnéto-électrique inventé par moi et décrit dans la spécification de janvier 1840. Alors même que cette addition serait supprimée, le télégraphe restera ce qu'il était, dans tous ses détails, sans la plus légère altération.

» Il ne peut, par conséquent, être question ici de l'invention du télégraphe-impresseur comme d'un tout, mais seulement comme d'un mécanisme additionnel au moyen duquel les lettres sont imprimées au lieu d'être simplement montrées. Voici par quel moyen je produis cet effet : je substitue au disque en papier du télégraphe, sur le limbe duquel les lettres sont dessinées, un disque mince en bronze, entaillé de la circonférence au centre, de manière à former vingt-quatre bandes ou ressorts sur les extrémités desquels les types ou caractères sont fixés; cette roue à caractères arrive à la position voulue de la même manière absolument que le disque en papier. L'appareil additionnel consiste dans un mécanisme mis en mouvement par un électro-aimant, et qui force un marteau à appuyer le caractère placé devant lui contre un cylindre recouvert de plusieurs couches alternatives de papier blanc et noir à calquer; par ce moyen, et sans créer aucune résistance à la roue qui porte les types, j'obtiens plusieurs copies imprimées du message transmis.

Ce plan a été originairement conçu et exécuté par moi seul. Il est vrai qu'après que j'eus imaginé cette disposition, M. Bain me proposa un autre moyen peut être aussi efficace de produire le même effet : c'était de faire mouvoir la roue à caractères d'une seule pièce vers le cylindre autour duquel s'enroule le papier qui reçoit l'impression; M. Bain faisait usage de plus, pour charger les caractères de noir, d'un appareil à encrer semblable à ceux que l'on a adoptés dans les machines à imprimer ordinaires. Quoique j'eusse acheté de lui le modèle informe par lequel il expliquait son mécanisme, et que je l'eusse employé ensuite pour voir jusqu'à quel point il pourrait l'appliquer pratiquement à mon télégraphe, je n'ai jamais fait, je n'ai nullement l'intention de faire usage des idées qu'il me suggéra, et je n'ai pas élevé à cet égard la plus petite réclamation. La vérité de ces assertions ne peut pas être révoquée en doute, puisque j'ai eu en ma possession un écrit signé par M. Bain et daté du 18 août 1840, dans lequel il reconnaît avoir reçu le prix d'un modèle *de la modification par lui proposée à l'appareil-impresseur ajouté au télégraphe électrique*, et admet que cette modification diffère du mécanisme imaginé par moi dans le même but par l'addition d'un rouleau à encre, et par ce fait que la roue sur la circonférence de laquelle les types sont placés est mue ou poussée en avant d'une seule pièce, de manière à imprimer les caractères sur le cylindre recouvert de papier, au lieu que dans mon mécanisme chaque type était pressé individuellement. Quel que soit le mérite du procédé de M. Bain, il ne peut fournir à qui que ce soit un motif raisonnable de remettre en question l'originalité et la priorité de mon télégraphe électro-magnétique imprimant les dépêches, dont la propriété est mise à l'abri de toute atteinte, tant par les deux patentes que j'ai déjà rappelées et qui avaient pour objet le télégraphe lui-même, que par une patente nouvelle et de date plus récente comprenant mon mécanisme à impression.

« Comme je n'ai rien avancé dans cette lettre que je ne puisse appuyer de documents authentiques et qui ne puisse être attesté par des témoins dignes de foi, j'ai droit de regarder comme indignes de réfutation toutes les assertions gratuites que l'on voudra encore émettre et de me refuser à toute correspondance ultérieure. »

M. Bain essaya de répondre à cette lettre écrasante; mais je ne trouve dans sa réponse aucun argument tant soit peu concluant en sa faveur. Il décrit longuement son arrivée à Londres, ses angoisses, ses entrevues avec M. Wheatstone, l'achat du modèle, etc., etc. Vous attendiez la réfutation des preuves mises en avant par M. Wheatstone, la voici :

Le savant professeur prétend avoir dit à ses amis qu'il pouvait reproduire l'heure d'une première horloge dans toutes les maisons d'une ville; or, reproduire aussi l'heure d'une seule horloge dans toutes les maisons même d'une petite ville est chose impossible, donc le savant professeur n'a pas tenu le langage qu'on lui prête. Et pour prouver cette prétendue impossibilité, M. Bain affirme que la quantité d'électricité nécessaire à la production de l'effet voulu serait telle qu'on ne pourrait la conduire par des fils, mais seulement par des barres, et que de plus ces barres métalliques deviendraient rouges en quelques minutes. Voilà le premier argument; voici le second : si M. Wheatstone avait eu, comme il le prétend, avant le mois de juillet 1840, l'idée du télégraphe imprimant les dépêches et de l'horloge télégraphique, il aurait certainement fait entrer ces deux perfectionnements dans la patente qu'il avait demandée en 1840, et qui ne fut définitivement obtenue qu'en juillet. Suivent deux lettres de MM. Laurie et Baddelay, lesquelles n'ajoutent rien à ce que nous avons dit.

Comme M. Bain maintenait avec audace ses premières assertions, et que les assertions positives d'un homme quel qu'il soit laissent toujours quelques doutes dans les meilleurs esprits, M. Wheatstone crut devoir les réfuter encore une fois en faisant imprimer dans le *Litterary Gazette* du 20 mars 1842 les documents suivants : 1° une déclaration de quatre hommes éminents, MM. Robert Willis, J.-F. Daniel, N. Arnolt, W. Snow Harris, qui affirment que, dans leur conviction intime, l'horloge télégraphique et l'impression des dépêches sont deux applications saillantes, faciles, du principe de la télégraphie électrique inventée en 1839 par M. Wheatstone; 2° quatre lettres de MM. Martin, Miller, Ward et Coowper. M. Martin assure que M. Wheatstone lui parla en mai 1840, dans King's-College, de son projet de télégraphier l'heure; il ajoute avoir fait alors la réflexion naïve suivante : « Vous conduiriez donc le temps à

travers les rues de Londres, comme nous conduisons maintenant l'eau? » M. Milier entendit M. Wheatstone développer cette idée le 17 juillet 1840. M. Ward raconte que, le 20 juin 1840, pendant qu'il tournait la manivelle du rhéotome, il lui échappa de dire que si le rhéotome tournait d'un mouvement uniforme, les signes télégraphiques indiqueraient l'heure. Provoqué par cette réflexion faite à haute voix, M. Wheatstone répondit : « C'est ce qui aura lieu en effet; j'ai conçu une modification du télégraphe électrique à l'aide de laquelle une horloge unique indiquera l'heure à la fois dans un grand nombre de lieux. » Curieux de connaitre de quelle manière on obtiendrait ce résultat étonnant, M. Ward interrogea M. Wheatstone, qui lui expliqua, sur un dessin, comment, à l'aide des oscillations d'un pendule, il pouvait arriver à rompre et refermer le courant de manière à produire des signaux isochrones sur un nombre donné de cadrans. M. Ward ajoutait que M. Wheatstone lui indiqua encore d'autres moyens d'atteindre ce but, mais que le mode par emploi du pendule resta fixé surtout dans son esprit.

La lettre de M. Coowper, homme fort connu dans le monde mécanique par les perfectionnements qu'il a introduits dans la machine à imprimer, a pour objet le télégraphe imprimant les dépêches, et confirme la déclaration signée Bain que nous avons enregistrée plus haut. Voici cette lettre : « A l'époque où vous m'apprîtes que vous méditiez une addition à votre télégraphe électro-magnétique, laquelle vous permettrait d'imprimer les lettres au lieu de les montrer simplement, vous me demandâtes plusieurs renseignements sur la manière de préparer les divers papiers à décalquer que vous vous proposiez d'employer, et sur la meilleure forme à donner aux caractères à l'aide desquels vous deviez obtenir l'impression. La note dans laquelle je répondis aux questions que vous me faisiez relativement à votre télégraphe impresseur était datée du 10 juin 1840. »

Ces témoignages de personnes indépendantes et désintéressées suffisaient à justifier pleinement M. Wheatstone. Celui-ci crut devoir renouveler néanmoins les observations suivantes :

« Il est entièrement faux que M. Bain m'ait jamais montré un modèle d'horloge télégraphique, soit avant, soit après l'époque à laquelle je l'employai. Il n'a pas donné la moindre preuve qu'il eût à cette époque en sa possession un semblable modèle. Il n'a jusqu'ici

introduit le temoignage d'aucune personne affirmant l'avoir vu chez lui.

» Il est également faux que M. Bain m'ait montré à cette même époque un modèle du télégraphe électrique imprimant les dépêches. Il me présenta seulement un modèle, si toutefois un objet aussi informe peut être digne de ce nom, d'un petit appendice à ajouter à mon télégraphe électrique, et destiné à produire un effet que j'avais déjà réalisé par différents moyens. L'appendice en question était simplement une addition mécanique n'impliquant aucun principe scientifique nouveau. Bien loin que l'ouvrage fait par lui pendant le temps que je l'ai employé eût uniquement pour objet, comme il l'affirme, sa propre invention, la seule inspection de son travail, et on peut le voir encore dans l'état où il l'a laissé, montrera qu'il était substantiellement copié du télégraphe inventé par moi un an auparavant; ce travail, de plus, fut fait sous ma propre direction.

» Il y a plus de huit mois que M. Bain a commencé à réclamer contre moi, et malgré l'appui qu'il a reçu des propriétaires de l'*Exhibition polytechnique*, malgré le concours d'autres personnes qui le soutiennent, il n'a encore réussi qu'à imiter les dispositions mécaniques du télégraphe électrique. Il ignore entièrement les principes de communication à distance au moyen d'électro-aimants que j'ai établis le premier en partant du beau théorème de M. Ohm. L'instrument produit par lui dernièrement à l'*Exhibition polytechnique* peut sans doute fonctionner dans un petit espace, comme beaucoup d'autres appareils, mais il serait dans l'impuissance absolue de fonctionner à travers une longue étendue de fils, tandis que tout le monde sait que mes télégraphes agissent à travers des fils de plusieurs milles de longueur, sous l'influence d'un petit nombre d'éléments voltaïques de dimensions très petites. Rien n'est plus propre à faire ressortir l'ignorance entière de M. Bain et de ses collaborateurs, relativement aux lois de l'électricité, que cette assertion qu'un fil rougira avant qu'on puisse obtenir un courant assez fort pour mettre en action simultanément un grand nombre d'électro-aimants dans un même circuit. Tout homme familiarisé avec ce genre de recherches sait que pour produire un effet donné dans chaque électro-aimant, le nombre des éléments voltaïques doit être en proportion avec les résistances additionnelles du circuit,

mais que dès que cette condition est remplie, l'intensité du courant dans chaque section du fil, et par conséquent la température du fil, restent les mêmes. »

Ce que je viens de dire suffit, je pense, pour résoudre pleinement la question de priorité soulevée par les attaques si vives de M. Bain. Les documents que j'ai analysés sont d'autant plus irrécusables que je les ai tous puisés dans le manifeste même des adversaires de M. Wheatstone. Deux grands faits ressortent de cette discussion : 1° le 26 novembre 1840, M. Wheatstone a présenté à la Société royale de Londres et a fait fonctionner publiquement l'horloge électro-télégraphique, appareil dont il avait conçu le plan dès les premiers mois de cette même année. Au mois de janvier suivant, M. Barwise d'abord, puis MM. Barwise et Bain, réclamèrent la priorité de cette invention sans apporter d'autres preuves que les témoignages vagues de deux ou trois amis de M. Bain. Donc, d'après tous les principes reçus, l'invention de l'horloge électro-télégraphique appartient de droit et de fait à M. Wheatstone. 2° Il résulte d'un reçu signé par M. Bain lui-même, qu'à l'époque où il montra à M. Wheatstone le mécanisme à l'aide duquel il voulait imprimer les dépêches, le savant professeur était déjà en possession d'un appareil qui remplissait parfaitement le but qu'on voulait atteindre. Donc, M. Wheatstone est non seulement l'inventeur du télégraphe électro-magnétique, mais encore l'inventeur du télégraphe électro-magnétique imprimant les dépêches.

Pour montrer jusqu'où la haine peut aveugler, je rappellerai ici les arguments par lesquels MM. Bain et consorts s'efforcent de rabaisser le mérite de la découverte de M. Wheatstone ou même de la lui enlever. Ils ne voient dans le télégraphe électro-magnétique que trois choses : l'échappement, le cadran à signaux et le mécanisme qui rend l'échappement libre en utilisant l'attraction d'un électro-aimant temporaire. Or, disent-ils, l'échappement était employé en 1815 par M. Buzengeiger dans son horloge mise en mouvement par l'électricité ; le cadran a été adopté en 1815 et 1823 par M. Ronalds ; M. Davy, en 1838, a utilisé l'attraction de l'aimant temporaire ; donc M. Wheatstone n'a rien inventé. Renversons une fois pour toutes ce méchant échafaudage qui repose sur la plus insigne mauvaise foi. Il ne peut pas évidemment être question de

l'échappement et du cadran en eux-mêmes, ils datent de plusieurs siècles ; mais il s'agit de l'échappement rendu libre par l'action d'un courant qui se transforme en aimant temporaire et attire un morceau de fer doux. Or, je le demande, n'est-ce pas une sotte injustice que de réclamer pour M. Buzengeiger, et pour l'année 1815, une disposition qui, pour ce mécanicien et cette époque, ne pouvait pas même devenir l'objet d'une pensée quelconque, puisque, en 1845, les propriétés magnétisantes du courant n'étaient pas découvertes. Il s'agit d'un cadran qui, à chaque rupture et fermeture du courant, tourne d'un nombre de degrés déterminé, invariable, sous l'action d'une force permanente d'un ressort ou d'un poids que le courant a mis en jeu. M. Ronalds a-t-il eu, a-t-il pu concevoir ce mécanisme en 1815 ou en 1823? évidemment non, et vous l'insultez en vous servant de son nom pour outrager un homme dont il admire le génie. Quant à ce qui regarde M. Davy, l'assertion de M. Bain n'est pas moins odieuse; il a fallu un grand effort d'animosité pour arriver à oublier que l'emploi de l'aimant temporaire servant à mettre en jeu une force permanente faisait partie de la première patente de MM. Wheatstone et Cooke ; là est le grand pas de la télégraphie électrique, là est le plus beau titre de gloire de M. Wheatstone.

M. Arago a fait récemment à l'Académie une belle profession de foi : « Les savants, a-t-il dit, doivent, suivant moi, respecter jusqu'au scrupule les droits des artistes qui travaillent pour eux. S'il était vrai que ce principe eût été quelquefois méconnu, j'aurais montré, quant à moi, par ces explications et ma communication, combien il me paraît sacré. » J'applaudis pleinement à ces nobles dispositions de cœur de l'illustre secrétaire perpétuel, et comme lui je serai toujours prêt à défendre les droits de l'ouvrier intelligent dès qu'ils me seront démontrés ; mais quand trop souvent l'ouvrier, par un fol orgueil, voudra, à l'exemple de M. Bain, disputer au savant qui l'employa, non seulement des perfectionnements mécaniques qu'il a très bien pu proposer, mais jusqu'à ses idées, et des idées authentiquement reconnues siennes par une première invention qui les renfermait ; alors, bien malgré moi, je défendrai même le fort contre le faible, parce que le faible est devenu un agresseur injuste, et que la faiblesse non plus que la force ne constitue pas le droit.

J'examinerai, dans la partie descriptive, si M. Bain a réellement perfectionné le mécanisme de l'horloge électro-magnétique et de l'appareil destiné à imprimer les dépêches. Je puis dire déjà qu'il n'a pas critiqué sans fondement la disposition dans laquelle M. Wheatstone mettait le rhéotome sur l'arbre même du régulateur; il me semble difficile que cette résistance, quelque petite qu'elle soit, ne nuise pas à la régularité du mouvement; l'idée de se servir des oscillations du pendule pour rompre et fermer le courant est meilleure, mais nous avons vu que M. Ward affirme qu'elle lui a été indiquée par M. Wheatstone.

QUATRIÈME APPLICATION.

Appareil propre à rendre plus facile la comparaison de deux pendules.

Il arrive continuellement que, dans les observatoires surtout, on ait à comparer à un pendule étalon divers pendules à seconde qui devront servir plus tard à des expériences précises de Géodésie. Cette comparaison est une opération délicate, que l'on exécutait jusqu'ici en étudiant attentivement avec l'oreille les oscillations des deux pendules à comparer, et notant avec le plus grand soin les coïncidences. Pour qui connaît la mobilité de l'esprit humain, cette méthode des coïncidences apparaîtra sujette à beaucoup d'erreurs. Il y a peu de jours, un des astronomes attachés à l'Observatoire royal, M. Faye, parlait devant moi d'un moyen nouveau qu'il étudiait depuis quelque temps, et qui reposait sur le principe fondamental de la transmission instantanée de l'étincelle électrique. Ce moyen me parut très complexe et très difficile à réaliser, et j'osai faire part à mon tour d'une idée qui m'avait été inspirée par ce que j'avais appris de l'horloge électrique de M. Wheatstone. Voici quelle serait la disposition générale de l'appareil. On se servira des oscillations des deux pendules à comparer pour faire mouvoir sur un même cadran deux aiguilles. Pour obtenir ce résultat, il suffira évidemment de suspendre aux extrémités des deux pendules deux petits fils mobiles très minces qui, lorsque les pendules arriveront au point le plus bas de leur course, établiront ou fermeront le courant; la fermeture du courant aimantera les petits morceaux de fer doux

liés aux échappements d'horlogerie qui doivent faire mouvoir les aiguilles correspondantes à chaque pendule. Chaque oscillation des pendules fera donc faire un pas aux aiguilles, et la comparaison des pendules, si pénible quand on voulait y procéder directement, est ramenée à la simple considération de la marche de deux aiguillles sur un même cadran. J'ai communiqué cette pensée à M. Froment, ancien élève de l'École polytechnique, aujourd'hui ingénieur-mécanicien distingué qui a exécuté avec le plus grand succès tous les systèmes connus de télégraphie électrique. Cet habile artiste a déjà dessiné le nouvel appareil, qui ne présente aucune difficulté, et il désire aussi ardemment que moi de le voir mis en usage à l'Observatoire royal. Puisque j'ai été amené à nommer M. Froment, je consignerai ici deux observations que j'ai faites dans ses ateliers. J'ai dit, dans plusieurs circonstances, que l'emploi de l'appareil magnéto-électrique était préférable pour la télégraphie électrique à l'emploi des piles; je ne rétracte pas cette opinion, mais je signalerai un petit inconvénient du premier genre de moteur.

Quand on se sert de l'appareil électro-magnétique, il faut nécessairement mouvoir par impulsions brusques et vives la roue horizontale qui porte les signaux; si on la faisait tourner mollement, les courants d'induction ne se dégageraient pas nettement, il y aurait de l'hésitation dans la rotation des cadrans, les indications seraient incertaines ou même défectueuses; j'avais constaté plus d'une fois, à la gare du chemin de fer de Versailles (rive droite), que presque personne ne réussissait du premier coup à transmettre une dépêche. M. Froment m'a donné le premier l'explication de ce fait: on ne réussit pas quand on n'est pas arrivé par l'exercice à donner à la roue ce mouvement de rotation brusque, tranché, que j'avais si bien remarqué quand la main de maitre de M. Wheatstone la conduisait.

Comme la pile donne naissance à un courant continu et non plus discontinu, l'inconvénient dont je viens de parler ne subsiste plus; on peut mouvoir la roue aussi mollement que l'on veut.

M. Froment m'a dit encore que de tous les appareils de télégraphie électrique qu'il a construits, celui qui a donné les indications les plus nettes et les plus rapides, est un modèle presque informe en carton dans lequel le petit morceau de fer doux aimanté fait

avancer directement d'un pas, par un enchaînement de leviers, le cadran mobile sans l'intermédiaire d'un mouvement d'horlogerie. Faut-il en conclure que j'ai exagéré quand j'ai présenté l'introduction d'une force permanente comme le plus grand pas de la télégraphie électrique? Non sans doute, et M. Froment est de mon avis. Le fait que je viens de signaler de la perfection d'un appareil incomplet est un pur hasard sur lequel il n'est pas permis *à priori* de compter. On n'obtiendra, généralement parlant, des indications régulières que par le mécanisme de M. Wheatstone.

CINQUIÈME APPLICATION.

Thermomètre-télégraphe.

Les applications que nous avons énumérées jusqu'ici sont sans doute ingénieuses et grandement utiles; elles le cèdent cependant sous ce double rapport au thermomètre-télégraphe, que fit d'abord connaître la note suivante insérée dans le *Bulletin de l'Académie de Bruxelles*, mai 1843.

« Le principe auquel M. Wheatstone a recours est celui dont il a fait usage dans son télégraphe électrique, c'est-à-dire la détermination à l'aide des courants des plus faibles forces mécaniques. Par le simple contact du mercure avec un fil fin de platine placé dans le tube des instruments météorologiques, on pourra apprécier de demi-heure en demi-heure la marche du baromètre, du thermomètre et du spychromètre avec plus de certitude que ne pourrait le faire l'observateur le plus exercé. Le prix d'un pareil instrument n'excèderait pas 1,300 fr. M. Wheatstone se propose de faire l'essai du nouvel appareil météorologique à l'observatoire de Richemond.

» J'ai terminé, ajoute M. Wheatstone, mon thermomètre-télégraphe pour les expériences à faire avec le ballon captif. Cet instrument indiquera toutes les variations thermométriques à la distance de plusieurs milles. Il porte une échelle variable de 28 degrés Farenheit, donne les trois-centièmes parties de cette échelle, et permet de faire une observation par trois minutes.

» J'ai encore inventé et construit une modification importante de cet instrument d'après lesquelles les indications d'un thermomètre

placé d'une manière permanente à une profondeur quelconque au-dessous de la surface du sol, peuvent être lues dans le cabinet de l'observateur. »

Ici vraiment l'imagination s'effraie; les profondeurs de l'espace et de l'abîme sont donc devenues accessibles; vous y déposez un instrument inerte, et l'espace et l'abîme se chargent de vous envoyer eux-mêmes instantanément les indications de pression atmosphérique, de température, d'humidité que vous avez désirées et qui vous arrivent comme par enchantement dans votre laboratoire. Le fond du puits artésien de Grenelle, par exemple, pourra vous faire connaître à volonté et sans que vous ayez un pas à faire, sa température et la vitesse de ses eaux. Dans quel monde de merveilles sommes-nous donc transportés! Naguère c'était la lumière qui se faisait pour nous le plus étonnant des dessinateurs, aujourd'hui c'est la nature entière qui vient se peindre sous nos yeux. M. Wheatstone est donc sorcier, s'il n'est pas charlatan; il n'est ni l'un ni l'autre. Génie heureux, il a rencontré un filon d'or massif; est-il étonnant qu'il vous prodigue ses trésors?

SIXIÈME APPLICATION.

Chronoscope. — Moyen de mesurer des intervalles extrêmement courts, comme la durée du choc des corps élastiques, celle du débandement des ressorts, de l'inflammation de la poudre, la vitesse des projectiles, etc.

Il est un fait qui doit dominer la longue discussion que cette application nouvelle va soulever, c'est que dès 1840 M. Wheatstone a fait annoncer par M. Quételet, dans une des séances de l'Académie de Bruxelles, que, par une extension du mécanisme de son télégraphe électrique, il avait trouvé le moyen de mesurer la durée des phénomènes qui se produisent dans un temps très court, la vitesse des projectiles, etc. Il avait à cette époque, en un mot, inventé le Chronoscope. L'idée du grand progrès que nous allons raconter lui appartient donc évidemment, il en a pris possession dans le monde entier, il ne peut rester de doutes que sur l'exécution de l'appareil. Est-il, oui ou non, devenu entre les mains de M. Wheatstone, avant que MM. de Constantinoff et Bréguet s'en

occupassent, un instrument réel pouvant donner et ayant déjà donné des résultats comparables? voilà la seule question à résoudre. La solution n'est pas douteuse pour moi ; exposons d'abord les faits, écoutons les prétendants divers ; la vérité ressortira de cette exposition facile, et nous conclurons sans peine.

Idée et procédés de M. Pouillet.

La première note imprimée sur ce sujet est sortie de la plume de M. Pouillet ; je la reproduis toute entière, parce que les considérations générales par lesquelles elle débute présentent un très grand intérêt.

« On a fait des recherches intéressantes sur la rapidité avec laquelle s'exercent les actions électriques et magnétiques ; mais en général on n'a pas assez distingué ce qui appartient aux fluides eux-mêmes de ce qui appartient à la matière pondérable à laquelle ils impriment des mouvements. Cette distinction est d'autant plus nécessaire que l'action propre des fluides entre eux est primitive et directe, et qu'elle s'accomplit avec une prodigieuse vitesse, tandis que l'action qu'ils exercent sur les corps pesants est secondaire et indirecte ; et par la nature des choses elle ne peut se manifester que par des mouvements dont la vitesse est incomparablement moindre. Ainsi, lorsqu'une aiguille de boussole est en équilibre sous l'influence du magnétisme terrestre, et qu'on la voit se dévier par une cause étrangère comme une décharge électrique, un coup de foudre ou une aurore boréale, il faut bien distinguer l'instant rapide où les fluides magnétiques ont été affectés, de l'instant tardif où nos yeux peuvent constater un mouvement appréciable dans la masse pesante de l'acier qui constitue l'aiguille. Il se pourrait bien faire qu'entre ces deux instants il y eût un intervalle de temps égal à mille fois ou à dix mille fois la courte durée pendant laquelle l'action propre des fluides s'est fait sentir. Les phénomènes qui se succèdent dans ces circonstances peuvent être assimilés, sous quelques rapports, à ceux qui se produisent dans le pendule balistique, quand le projectile, n'ayant qu'une masse relative petite, se trouve animé cependant d'une très grande vitesse. Alors le pendule peut être tellement disposé que son mouvement, par rapport à la courte durée du choc, ne devienne bien perceptible qu'après un temps considérable. Aussi n'essaie-t-on pas d'apprécier par le pendule le temps pendant

lequel le projectile agit, bien que cette action, qui s'exerce ici entre des corps pesants, ayant des masses de grandeurs finies et comparables entre elles, ait sans doute une durée très grande relativement à la durée de l'action que les fluides électriques exercent directement entre eux, ou directement sur la matière pondérable.

» Ce que l'on détermine au moyen du pendule balistique, c'est la vitesse de translation du projectile lorsqu'on connait sa masse, et lorsqu'on connait en même temps les conditions du pendule et l'amplitude de la déviation qu'il a éprouvée sous l'influence du choc. Il y a là quatre quantités liées entre elles par des relations simples qui se déduisent des lois de la mécanique, et trois de ces quantités étant connues, la quatrième peut être déterminée avec plus ou moins d'exactitude.

» L'analogie que l'on peut établir entre le pendule balistique et l'aiguille aimantée est assurément très imparfaite, puisque les forces qui agissent dans les deux cas sont d'une nature tout-à-fait différente : cependant elle n'est pas sans utilité pour faire comprendre le parti que l'on peut tirer de l'aiguille magnétique pour une foule de recherches auxquelles, jusqu'à présent, elle n'avait pas été appliquée.

» On conçoit, en effet, que si une aiguille aimantée est en repos et qu'un courant électrique vienne agir vivement sur elle pendant un temps très court, par exemple pendant un dixième, un centième ou un millième de seconde, il pourra résulter de cette impulsion unique et presque subite un mouvement de déviation lent et régulier, d'une amplitude déterminée et parfaitement appréciable. Ce mouvement de déviation sera, par sa cause, différent de celui du pendule balistique, mais il lui sera fort analogue par ses effets, car il se transformera comme celui-ci en oscillations plus ou moins rapides. Dans ce dernier cas, la déviation primitive dépend de l'établissement du pendule, c'est-à-dire de sa masse, de sa longueur, de son moment d'inertie, etc., puis de la vitesse et de la masse du projectile ; et les oscillations qui en sont la suite et qui sont produites par l'action de la pesanteur dépendent elles-mêmes de cette première impulsion. Dans le cas de l'aiguille aimantée, la déviation primitive dépend aussi de l'établissement de l'aiguille, c'est-à-dire de sa masse pondérable, de sa longueur, de son moment d'inertie, de la quantité et de la distribution de son magnétisme libre ; puis elle dépend aussi de l'intensité du courant électrique et du temps pen-

dant lequel il a exercé son action ; enfin, les oscillations qui en sont la suite et qui sont produites par la force magnétique terrestre, dépendent elles-mêmes de cette première impulsion. Ainsi, la masse et la vitesse du projectile sont ici remplacées par l'intensité du courant et par le temps pendant lequel il agit, si bien que la durée de son action peut se déduire de son intensité, pourvu que les conditions relatives à l'aiguille soient complétement connues.

» S'il arrive, par conséquent, qu'un courant électrique puisse agir d'une manière régulière et identique à elle-même pendant un instant très court, tel, par exemple, qu'un millième ou dix-millième de seconde, et s'il arrive en même temps qu'il puisse, par cette action si prompe, produire sur un système magnétique convenable une première impulsion, une déviation primitive assez lente et d'une amplitude assez étendue, rien ne sera plus facile que de déterminer avec exactitude des intervalles de temps qui se comptent par millièmes ou par dix millièmes de seconde. Pour obtenir de telles mesures au moyen des aiguilles aimantées, tout se réduit donc à ces questions essentielles : Quelle est la limite de temps nécessaire à un courant pour traverser un circuit donné? Quelle est la limite d'amplitude des déviations qu'il peut produire sur le système magnétique le plus impressionnable?

» La première question a été examinée dans l'un des mémoires que j'ai présentés à l'Académie, en 1837, sur les lois de l'intensité des courants électriques ; j'avais constaté alors qu'un circuit de plusieurs milliers de mètres de longueur était traversé par le courant dans un espace de temps qui ne s'élevait pas à $\frac{1}{7000}$ de seconde, et que dans cet instant si rapide ce n'était pas seulement une partie de l'électricité qui se manifestait dans le circuit, mais que le courant passait intégralement avec toute son intensité. Je ne sache pas que, depuis cette époque, on ait poussé plus loin ce genre de recherches ; j'admettrai donc ce résultat comme la limite de ce qui est démontré, mais non pas comme la limite de ce qui peut l'être. Je suis porté à croire, au contraire, que dans un temps plus court l'électricité peut traverser un circuit d'une étendue beaucoup plus considérable. Il serait intéressant de faire des expériences sur ce sujet avec des circuits de trois ou quatre cent mille mètres, comme

ceux qui sont employés aux télégraphes électriques ; en opérant sur de telles longueurs, on aurait de bien plus grandes facilités pour trouver la limite de vitesse avec laquelle se propage l'électricité, et aussi pour découvrir si cette limite dépend de la longueur absolue des circuits, ou de leur degré de conductibilité.

» Le seconde question n'est pas résolue par la première : de ce que le courant passe intégralement dans $\frac{1}{7000}$ de seconde, et de ce qu'il maintient en équilibre l'aiguille de la boussole d'intensité par son retour périodique à des intervalles aussi rapprochés, il n'en résulte aucunement qu'une seule de ces actions doive imprimer à l'aiguille une déviation sensible et observable. Il fallait donc isoler l'un de ces chocs pour en connaître l'effet. J'y suis parvenu de la manière suivante :

» Sur un plateau de verre de 84 centimètres de diamètre est collée une bande d'étain d'un millimètre de largeur, s'étendant comme un rayon de la circonférence vers le centre ; là, elle communique à une bande circulaire plus large qui entoure l'axe de rotation. Supposons que le plateau tourne à raison d'un tour par seconde et que les deux extrémités d'un circuit électrique s'appuient par des ressorts, l'une sur la bande centrale qu'il touche toujours, l'autre sur le verre du plateau près de sa circonférence ; au moment où la bande d'un millimètre viendra passer sous ce dernier, il y aura communication électrique, et la durée du courant sera justement égale à la durée du passage de la bande, c'est-à-dire à $\frac{1}{2250}$ de seconde si l'on touche près de la circonférence, à $\frac{1}{1260}$ si l'on touche au milieu du rayon, etc.

Si le plateau fait deux tours, trois tours, quatre tours par seconde, on obtiendra ainsi des passages d'une durée deux, trois ou quatre fois moindre.

Or, en faisant l'expérience, j'ai trouvé qu'une pile ordinaire de Daniell à six éléments, ayant à traverser un circuit d'environ 40 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre, donne un courant assez intense pour que l'action qu'il exerce pendant $\frac{1}{5000}$ de se-

conde imprime une déviation de 12 degres à l'aiguille d'un galvanomètre peu sensible ; l'aiguille met environ dix secondes à parcourir cet arc, de telle sorte que l'action rapide des fluides électriques et magnétiques qui s'est exercée pendant $\frac{1}{5000}$ de seconde se trouve par là transformée en un mouvement cinquante mille fois plus lent, lorsqu'il passe dans la matière pondérable de l'aiguille.

» Le galvanomètre de M. Melloni a une sensibilité qui est maintenant connue de tous les physiciens ; elle est variable dans les divers appareils : cependant elle peut être prise pour terme de comparaison lorsqu'il ne s'agit que de donner une idée approximative des effets électriques. L'un de ces instruments donne 15 degrés de déviation lorsqu'on fait agir sur lui pendant $\frac{1}{5000}$ de seconde le courant d'un seul élément de Daniell dont le circuit se compose d'environ 20 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre. Ainsi, avec cet instrument l'on peut apprécier sans peine la dix-millième partie d'une seconde.

» On comprend qu'il y a ici à déterminer les lois suivant lesquelles l'amplitude de la déviation varie dans le même appareil, avec l'intensité du courant et la durée du contact ; ces lois peuvent se déduire de diverses considérations théoriques : cependant il sera nécessaire de les vérifier par des expériences précises. En attendant, je me suis borné à graduer empiriquement l'appareil qui m'a servi, c'est-à-dire à dresser une table des déviations qu'il éprouve sous l'influence d'un courant connu agissant pendant un temps déterminé. Cette graduation une fois faite, le galvanomètre devient, en quelque sorte, un pendule balistique qui donne le temps pendant lequel le même courant exerce son action.

» Parmi les applications que j'en ai pu faire jusqu'à présent, je citerai seulement celle qui est relative à la vitesse d'inflammation de la poudre.

» L'expérience se dispose de la manière suivante : les deux extrémités d'un circuit dans lequel se trouvent le galvanomètre et un élément de Daniell viennent s'adapter, l'une à la capsule mise en place sur sa cheminée, et l'autre au chien du fusil, toute la batterie étant bien isolée du canon à quelque distance, de manière à être coupée par la balle à l'instant où elle sort. Voilà tout l'appa-

reil. Lorsqu'on tire, le courant passe donc pendant tout le temps qui s'écoule, depuis l'instant où le chien frappe la capsule jusqu'à l'instant où la balle coupe le fil. Les déviations produites dans diverses expériences faites avec la même charge de poudre sont parfaitement concordantes; les observations se font avec la plus grande facilité, et avec la charge dont j'ai fait usage, les valeurs extrêmes sont $\frac{1}{140}$ et $\frac{1}{150}$ de seconde, pour le temps qui s'écoule entre l'instant où la capsule est frappée et l'instant où la balle sort du canon.

» En variant les charges, en prenant des poudres de diverses qualités et des armes différentes, à canons ordinaires ou à canons rayés, on pourra aisément déterminer dans tous les cas le temps dont il s'agit.

» Pour appliquer le même principe à la recherche des vitesses d'un projectile en divers points de sa trajectoire, il suffit de disposer sur sa route un système de fils de soie, et plus loin un système de fils conducteurs, de telle sorte qu'en rompant le fil de soie, le projectile établisse la communication électrique, et qu'en rompant le fil conducteur il la supprime; la déviation observée donnera le temps du passage : seulement il faudra tenir compte du temps nécessaire au débandement du ressort qui doit établir la communication où le fil de soie est coupé. Ce temps se détermine lui-même très facilement, comme on peut déterminer aussi le temps du choc des corps élastiques; ce temps est très court : dans les essais que j'ai faits, il a varié de $\frac{1}{1500}$ à $\frac{1}{2000}$ de seconde.

» Le principe dont j'essaie de donner une idée, et sur lequel j'appelle l'attention des physiciens, n'est pas seulement applicable à la mesure du temps pendant lequel s'accomplissent les effets mécaniques les plus rapides; il pourra, j'espère, être d'un grand secours comme moyen de déterminer les intensités des courants que l'on appelle *instantanés*, c'est-à-dire ceux qui sont produits par l'électricité ordinaire et par les phénomènes d'induction.

» La graduation précise des galvanomètres exige des mouvements de rotation très uniformes. On peut sans doute obtenir cette uniformité avec des mécanismes d'horlogerie; mais je suis porté à croire qu'on les obtiendra avec plus de facilité au moyen d'une ma-

chine électro-magnétique convenablement disposée, et c'est peut-être là le service le plus immédiat que l'on puisse attendre de ces sortes de machines. »

Je ferai uue seule réflexion sur la note de M. Pouillet : le silence qu'il garde par rapport à M. Wheatstone m'étonne et m'afflige profondément. Quoi ! quand il rappelait ses travaux relatifs à la vitesse de l'électricité, ou quand il étudiait une application depuis longtemps annoncée par le savaut professeur de King's-College, M. Pouillet ne s'est pas cru obligé au moins de le nommer !

En suivant toujours l'ordre chronologique, écoutons maintenant M. Bréguet. La note suivante a été lue à l'Académie des sciences le 20 janvier 1845, et imprimée dans les *Comptes-rendus :*

« Le mémoire que M. Pouillet vient de lire à l'Académie sur l'emploi de l'électricité comme moyen de détermiuer des temps extrêmement courts me fait seutir la nécessité de publier cette note, qui se rapporte à un instrument dont le but était le même, et que j'ai construit il y a un an pour le gouvernemeut russe, conjointement avec M. de Konstantinoff, officier d'artillerie très distiugué.

» M. de Konstantinoff arrivait d'Angleterre. Quand il me viut voir, il avait déjà eu l'idée d'un instrumeut propre à mesurer la vitesse initiale des projectiles, ainsi que la vitesse dans différeuts points de la trajectoire. Ayant fait la connaissance de M. Wheatstoue, si connu par ses ingénieux travaux, ils eurent ensemble plusieurs entretiens à ce sujet, et il vit chez ce même savant un appareil qui, au moyen de courants électriques interrompus et rétablis, permettait de mesurer le temps de l'inflammatiou de la poudre avec un grand degré d'exactitude. M. Konstautinoff crut cependant, par une autre disposition, pouvoir obtenir encore plus d'exactitude et mesurer des intervalles beaucoup plus courts. Il me consulta sur ce projet, et croyant possible la solution du problème qu'il me proposait, nous commençâmes à travailler ensemble au mois de mars 1843.

» Le problème était celui-ci : Disposer un instrument qui pût indiquer et conserver treute ou quarante observations successives, faites dans des espaces de temps très rapprochés, d'un phénomène se passant plus ou moius loiu de l'endroit où se trouve placé l'instrument d'observation. Il nous viut naturellement dans l'idée d'employer pour cet objet l'électricité.

» Il fallait de plus unir à cette partie physique la partie mécanique, qui pouvait devenir assez compliquée, mais qui cependant ne le fut pas autant que semblait le faire présumer la solution cherchée.

» Des raisons particulières m'ont empêché de faire connaître cette machine; mais rien ne s'opposant plus maintenant à sa publicité, je vais tâcher d'en donner une idée aussi exacte qu'il m'est possible de le faire sans figures; elle a été vue d'ailleurs par MM. Arago, Regnault et Morin, dont l'autorité pourra être invoquée au besoin pour assurer ce que j'avance. M. Regnault surtout l'a pour ainsi dire suivie dans toutes ses phases, et a assisté à presque toutes les expériences d'essai qui avaient pour but la vérification des principes sur lesquels elle était établie.

» Nous pensâmes à employer un appareil à plateau tournant, semblable à celui de M. Morin, et comme il nous fallait plusieurs indications successives et distantes les unes des autres, nous avions pensé faire déplacer le style, s'approchant ou s'éloignant du centre à chaque nouvelle marque; mais ce moyen ne nous parut pas suffire, en ce que les marques faites au centre et celles faites à la circonférence n'étaient plus dans les mêmes limites d'erreur : car plus le rayon d'un arc tracé par le style eût été petit, plus la chance d'erreur eût été grande.

» Nous avons alors mis les indications dans des conditions identiques, en exécutant un cylindre assez long pour faire quarante à cinquante observations distinctes et qui appartinssent toutes à un même rayon. C'est en juin 1843 que nous commençâmes la construction de cette machine, qui ne fut terminée que le 29 mai 1844.

» Voici quelle en est la disposition :

» L'appareil est monté sur un bâti en fonte, et se compose de six parties distinctes :

» 1° D'un système de roues dentées mis en mouvement par une corde roulée autour d'un cylindre et à laquelle est suspendu le poids moteur;

» 2° D'un cylindre ayant un mètre de circonférence et 0m,36 de longueur, divisé sur sa surface en mille parties, qui sont donc des millimètres. Pour diminuer son frottement sur ses tourillons, il est porté par un système de galets. Sur son axe est un pignon qui

communique avec le rouage ci-dessus ; à une extrémité un volant de quatre ailettes, et à l'autre un plateau du même diamètre que le cylindre ;

» 3° D'un petit chemin métallique, parallèle à l'axe du cylindre ; les deux règles qui forment ce chemin sont isolées l'une de l'autre par de l'ivoire ;

» 4° D'un petit chariot monté sur trois roues de cuivre et roulant sur les deux règles ; il porte trois électro-aimants et deux styles indépendants l'un de l'autre, mais dépendants chacun d'un de ces électro-aimants. Le troisième électro-aimant est placé sous le chariot et sert à le retenir jusqu'au moment où l'on veut qu'il parte ;

» 5° D'un échappement à ancre dont le bras en fer doux, oscillant entre deux électro-aimants, est appelé tantôt à droite, tantôt à gauche, suivant qu'un courant passe autour de l'aimant de droite ou de celui de gauche. Ce va-et-vient laisse chaque fois échapper une dent de la roue sur l'axe de laquelle est un petit treuil où est enroulé un fil de soie tenant au chariot qui est tiré par un poids. Le passage du courant d'un aimant à l'autre se fait à chaque demi-tour du cylindre au moyen d'un commutateur placé sur son axe ; de cette manière le chariot avance d'une quantité constante à chaque demi-tour, et sa vitesse d'avancement est proportionnelle à celle du cylindre ;

6° Enfin d'une disposition particulière pour s'assurer du mouvement uniforme, indépendamment de tout appareil chronométrique, et qui donne le moyen de déterminer les limites de l'erreur dans les résultats finals.

» Ainsi l'appareil chronométrique a pour base le principe dont s'est servi M. Morin pour établir ses plateaux tournants, avec cette différence que le plateau est remplacé par un cylindre, et que le volant porte des ailettes qui sont des portions de spirale, dont la tagente est inclinée de 45 degrés sur le rayon vecteur, ce que nous avons trouvé préférable pour obtenir plus rapidement le mouvement uniforme, parce que, ainsi, l'air offre une plus grande résistance qu'avec des ailettes planes. La position de la corde qui porte le poids moteur est rendue constante en passant sur une poulie qui glisse sur une forte tringle ; à mesure qu'elle se développe, la corde est mouflée sur deux poulies coniques, et peut l'être à deux ou à six

brins. Enfin, l'appareil, quoiqu'établi dans de fortes proportions, est construit avec tout le soin que nous apportons à nos ouvrages les plus délicats.

» Le remontoire, qui, en général, dans ces sortes de machines, continue d'engrener avec la roue du cylindre, porte ici un système de désembrayage très simple, de sorte qu'une fois le poids remonté, le remontoir n'a aucune communication avec la machine, ce qui supprime tout frottement inutile.

» Nous avons construit plusieurs petits mécanismes semblables l'un à l'autre, mais séparés les uns des autres, et renfermés chacun dans une petite boite numérotée; ils servaient à établir le circuit pour une cible, quand celle d'avant avait été percée. Ces boites contenaient une roue d'ivoire avec des dents à rochets, et portant une dent métallique; sur son axe était une palette en fer qui avait un cliquet entrant dans les dents de la roue. Un autre cliquet, indépendant du premier, était un cliquet de retenue, et rétablissait un circuit voltaïque lorsque la dent métallique venait à le toucher.

» Devant la palette était un électro-aimant qui l'attirait lorsque le courant circulait autour de lui, et la laissait repartir quand un fil était coupé dans une cible. C'est dans ce mouvement que la roue d'ivoire avançait et approchait la dent métallique du cliquet de retenue.

» Une série de distances, à partir de la charge, étant déterminée, un conducteur passera devant le boulet, un autre devant la bouche du canon, et, pour les autres points, on placera des cibles dont la surface augmentera avec la distance.

» Les cibles sont de grands cadres dont le fil conducteur de l'électricité parcourt la surface en tous sens, de manière à présenter l'aspect d'un filet dont les mailles sont plus petites que le diamètre du projectile, afin d'être certain que le fil soit coupé en quelque endroit que la cible soit percée. Le courant circulant dans une cible, passant en même temps autour de l'électro-aimant d'un des styles, maintient, par l'aimantation, celui-ci éloigné du cylindre; d'où l'on voit que, au moment où la cible sera percée, le courant été interrompu, le style tombera en faisant une marque sur le cylindre. Le projectile, suivant sa route, percera une autre cible qui, communiquant avec le second style, le fera tomber sur le cylindre, où

il fera aussi une marque, et c'est à l'aide de la distance entre ces deux marques et de la vitesse connue du cylindre que l'on calculera la vitesse du projectile quand il passait d'une cible à la suivante.

» On pouvait avoir un courant et un style pour chaque cible ; mais il était plus simple de ne faire usage que de deux courants, quel que fût le nombre des cibles, et pour cela on fit usage des petites boîtes citées plus haut, de la manière suivante :

» On place chaque boîte entre deux cibles à partir de la seconde, et, par leur moyen, aussitôt que la seconde cible est percée, le courant s'établit pour la troisième, et le premier style se relève ; la troisième cible percée, le second style se relève, le premier retombe, et le courant parcourt la quatrième cible. Cette opération se répète ainsi jusqu'à la dernière.

» Les deux styles ayant chacun leur courant propre et étant par conséquent indépendants l'un de l'autre, on peut mesurer des espaces infiniment petits, ce qu'il ne serait pas possible de faire avec un seul style et un seul courant, qui serait interrompu, puis rétabli.

» Nous avons vu que le cylindre est divisé en mille parties, sa circonférence étant de 1 mètre. Chaque millimètre représente $\frac{1}{1000}$ de seconde, lorsqu'il fait un tour en une seconde, $\frac{1}{2000}$ quand il en fait deux, $\frac{1}{3000}$ quand il en fait trois.

» Contre sa circonférence et contre celle du plateau, qui, comme on sait, est isolé, frottent des ressorts ; sur chacune de ces circonférences est un arc en ivoire, afin de produire une interruption aux courants électriques que l'on fait passer par les électro-aimants des styles. Cette disposition est destinée à la vérification de l'uniformité du mouvement et de la mesure du temps que les styles mettent à tomber sur le cylindre, quantité nécessaire à connaître exactement, ou au moins les limites d'erreurs dans lesquelles elle oscille, afin de faire les corrections nécessaires quand on mesure le nombre de divisions entre deux marques voisines des styles, qui doit donner la vitesse de l'espace parcouru par le projectile.

» On voit donc qu'à chaque tour, ou chaque fois que la portion d'ivoire arrive sous le ressort, le courant est interrompu, le style

tombe, puis se relève à la fin de l'arc isolant, pour retomber au tour suivant.

» Maintenant, si l'on observe avec soin la division du cylindre sur laquelle le style tombe, le cylindre étant en repos, et ensuite le point où il tombe lorsque le cylindre est en mouvement, sa vitesse de rotation en une seconde de temps étant connue, on aura facilement la mesure du temps que le style a mis à tomber pendant l'arc ci-dessus mesuré. C'est ainsi que le cylindre faisant deux tours et demi par seconde, l'arc mesuré est de 30 millimètres; de là $\frac{30}{2500} = 0^s,012$ pour le temps que le style a mis à tomber sur le cylindre. On a répété mille fois ces épreuves.

» Pour observer si le mouvement est uniforme, on fait tourner le cylindre, et quand on le suppose bien égal, on établit les circuits. Voici alors ce qui se passe :

» Le chariot qui porte les électro-aimants et les styles se met en mouvement, et à chaque tour les styles font leurs marques sur le cylindre, mais en des endroits différents, dans le sens horizontal.

» Quand on est arrivé au bout du cylindre, et qu'on examine les indications, on doit, si le mouvement est uniforme, trouver toutes les marques sur une même directrice, s'il est accéléré ou retardé sous la forme d'une ligne hélicoïde, ou sinueuse s'il est inégal. On a par là un véritable appareil chronométrique qui se vérifie de lui-même.

» Nous avons observé le mouvement sur des vitesses de deux tours et demi et trois tours par seconde, et, en faisant tomber le style, nous avons trouvé toutes les marques sur une même directrice; quelquefois il y avait des différences de 1 millimètre, ce qui indiquait à cet instant une variation de mouvement de $\frac{1}{2500} = 0^s,0004$.

» Pour apprécier le moment où la vitesse devenait uniforme, nous observions les tours de l'axe immédiatement avant le cylindre, avec un compteur ; mais pour éviter cette opération plus ou moins fastidieuse, j'eus l'idée de mettre un commutateur sur l'axe et de disposer un compteur (dont l'aiguille fait des points sur un cadran), avec un système d'électro-aimants.

» A chaque tour de l'axe, le commutateur rétablissait un circuit électrique qui, circulant autour des électro-aimants, produisait une vive attraction, et l'extrémité d'un levier pressait sur le bouton du compteur; les points faits ainsi sur le cadran étaient marqués avec une grande régularité.

» Ce dernier instrument pourra, à ce qu'il nous semble, être employé avec avantage dans les usines; car au moyen de conducteurs partant du cabinet du directeur, et communiquant, soit au volant, soit au cylindre d'une machine à vapeur, il pourra à chaque instant de la journée et sans se déranger connaître la vitesse de l'un ou de l'autre. Pour plus de commodité, on pourra remplacer la pile par des courants électro-magnétiques.

» Cet instrument pourrait encore servir utilement dans les observations que l'on peut faire sur la vitesse des roues hydrauliques, suivant la nature des opérations que l'on fait exécuter aux outils qu'elles conduisent. »

Entendons enfin la réclamation de M. Wheatstone, 26 mai 1845.

« Je vois dans les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* que, dans la séance du 20 janvier, il a été lu une communication de M. Bréguet, dans laquelle il attribue à M. le capitaine de Konstantinoff et à lui-même l'invention du chronoscope électro-magnétique, instrument que j'avais moi-même inventé et confectionné plusieurs années auparavant, dans le but de mesurer les mouvements rapides, et surtout la vitesse des projectiles.

» Ce fut au commencement de 1840 que j'inventai cet instrument. Mon chronoscope se composait alors d'un mouvement d'horlogerie faisant agir une aiguille indicatrice qui marchait ou s'arrêtait suivant qu'un électro-aimant agissait sur une pièce de fer doux, l'attirant lorsqu'un courant attirait l'hélice de l'aimant, et l'abandonnant à lui-même lorsque le courant venait à cesser, comme dans mon télégraphe électro-magnétique, dont cette invention peut être considérée comme une des dérivations. La durée du courant était ainsi mesurée par l'étendue du cercle parcouru par l'aiguille du chronoscope.

» Une relation était établie entre la durée du courant et celle du mouvement du projectile par les moyens suivants : un anneau en bois embrassait l'embouchure d'un canon chargé, et un fil métal-

lique tendu reliait deux côtés opposés de cet anneau isolant, passant ainsi devant la bouche du canon. A une distance convenable était établi un but, disposé de telle façon que le moindre mouvement qu'on lui imprimait établissait un contact permanent entre un petit ressort en métal et une autre pièce de métal. Une des extrémités du fil métallique de l'électro-aimant était attachée à un des pôles d'une petite batterie voltaïque. A l'autre extrémité de l'électro-aimant étaient attachés deux fils métalliques, dont un communiquait avec le petit ressort du but, et l'autre à l'une des extrémités du fil métallique tendu devant la bouche du canon; de l'autre extrémité de la batterie voltaïque partaient aussi deux fils métalliques, dont l'un aboutissait à la pièce métallique fixée sur le but, et l'autre à l'extrémité opposée du fil métallique passant devant l'embouchure du canon. Ainsi, antérieurement à l'explosion du canon, il se trouvait établi, entre le canon et le but, un circuit non interrompu de fil métallique, et dont le fil métallique en travers de la bouche du canon faisait partie. Une fois le but frappé par le boulet, le second circuit était complété; mais durant le passage du projectile à travers l'air, et pendant ce temps seulement, les deux circuits étaient interrompus, et la durée de cette interruption était indiquée par le chronoscope.

» J'avais déjà démontré par mon télégraphe électro-magnétique que, lorsqu'ils sont convenablement disposés, les aimants peuvent être amenés à agir avec une batterie très faible, quand bien même les fils métalliques décriraient un circuit de plusieurs milles. Par conséquent, le canon, le but et le chronoscope peuvent être placés à des distances quelconques demandées les uns des autres. En raison de la grande rapidité avec laquelle l'électricité se propage, comme l'ont prouvé mes expériences publiées dans les *Philosophical Transactions* de 1834, aucune erreur sensible ne peut résulter de sa transmission successive.

» Pendant une visite que je fis à Bruxelles, au mois de septembre 1840, je décrivis cet appareil à mon ami M. Quetelet, qui en donna connaissance, le 7 octobre, à l'Académie des sciences de cette ville, communication mentionnée dans le bulletin de cette séance.

» Dans une visite que je fis postérieurement à Paris (mai 1841), j'expliquai cet appareil et j'en montrai les dessins à plusieurs

membres de l'Académie des sciences de Paris qui vinrent me voir au Collége de France, où, grâce à l'obligeance de M. Regnault, j'eus l'occasion de répéter devant eux plusieurs de mes expériences électro-magnétiques. Parmi les personnes présentes était M. Pouillet, qui me demanda l'autorisation de faire copier mes dessins, ce à quoi je consentis volontiers. J'appris de lui, en décembre dernier, que ces dessins étaient encore en sa possession.

» A mon retour en Angleterre, mon ami le capitaine Chapman (1), de l'artillerie royale, convaincu de l'utilité de cet instrument, était très désireux qu'il fût introduit dans la pratique de l'artillerie à Woolwich, et se donna beaucoup de peine pour y parvenir. Nous eûmes une entrevue à ce sujet avec feu lord Vivian, alors maître général de l'Ordnance, et, le 17 juillet 1841, j'expliquai à l'Institut de l'artillerie royale la construction de l'instrument et ses diverses applications. Vingt-deux officiers assistèrent à cette séance, dans le compte-rendu de laquelle (compte-rendu dont je possède une copie) il est dit que mon chronoscope « indiquait $\frac{1}{7300}$ de seconde, » et que mon objet était « de montrer son application aux usages pratiques de l'artillerie, » c'est-à-dire de déterminer le temps employé par un projectile à franchir les différentes sections de son parcours, ainsi que sa vitesse initiale. Dans la même séance, je montrai « un chronoscope destiné à mesurer la vitesse des éclairs, tels que ceux produit par l'ignition de la poudre. » Cet instrument, le seul que M. Bréguet m'attribue, n'avait cependant rien de commun avec les courants électriques, comme il le suppose ; c'était simplement une série de roues portant sur des axes trois légers disques en papier, d'environ 1 pouce de diamètre chacun. Les temps de leurs révolutions respectives étant comme 1, 10 et 100, le disque dont le mouvement était le plus rapide faisait 200 révo-

(1) Depuis longtemps j'entretenais une correspondance avec le capitaine Chapman à ce sujet. Dans une de ses lettres, du 27 août 1840, après m'avoir fait part de ses vues sur la manière de conduire ses expériences, il dit : « Nous obtiendrons ainsi la vitesse des projectiles à chacune des sections de » sa trajectoire, et j'ose croire que nous arriverons à une connaissance de » l'effet de la gravitation sur le projectile, beaucoup plus satisfaisante que » tout ce qu'on a obtenu jusqu'ici. »

lutions par seconde; sur chaque disque était tracé un rayon : lorsqu'ils étaient éclairés par une étincelle électrique, tous ces rayons paraissaient en repos, en raison de la durée excessivement petite de cette espèce de lumière (comme il est expliqué dans mon mémoire : *De la vitesse de l'électricité et de la durée de la lumière électrique*, publié dans les *Philosophical Transactions* de 1834); mais lorsqu'ils étaient illuminés par un éclair d'une durée de la deux-centième partie d'une seconde, le troisième disque paraissait uniformément teinté, pendant que le second disque montrait un secteur ombré de 36 degrés. Quand l'éclair ne durait que la deux-millième partie d'une seconde, un secteur semblable paraissait sur le troisième disque.

» Pour plusieurs raisons, les expériences avec mon chronoscope électro-magnétique ne furent pas poursuivies à Wolwich. En 1842, je fis la connaissance de M. de Konstantinoff, capitaine dans l'artillerie de la garde impériale de sa majesté l'empereur de Russie, et attaché à l'état-major du général de Winspaer; il prit beaucoup d'intérêt à cette affaire, exprima un vif désir d'avoir un appareil complet, afin d'entreprendre lui-même, à son retour en Russie, une série d'expériences telles que celles que j'avais en vue. Comme je n'avais pas moi-même le temps de poursuivre ces expériences, et comme personne en Angleterre, plus habile ou mieux placé pour cela, ne montrait le désir de les poursuivre, je cédai volontiers à sa demande, dans l'espoir que quelques résultats importants pour la science pourraient être obtenus. La seule condition que je mis à mon consentement était que M. de Konstantinoff ne publierait aucune description de l'appareil, jusqu'au moment où moi-même je l'aurais faite. L'instrument que je fournis à M. de Konstantinoff, et qui lui fut adressé à Paris en janvier 1843, était autrement construit que celui précédemment décrit, quoique essentiellement le même en principe.

» J'avais trouvé par expérience que lorsqu'une pièce de fer doux avait été attiré par un électro-aimant, et que le courant venait ensuite à cesser, bien que le fer parût retomber immédiatement, son contact était maintenu pendant un temps qui, plusieurs fois, équivalait à une fraction considérable de seconde. La durée de cette adhérence augmentait avec l'énergie du courant voltaïque et

avec la faiblesse du ressort à réactions. Pour la réduire à un minimum, il était nécessaire d'employer un courant très faible et d'augmenter la résistance du circuit jusqu'à ce que la force d'attraction de l'aimant fût réduite au point de ne surpasser que d'une faible quantité la force de réaction du ressort; mais alors l'aimant n'avait plus la force suffisante pour attirer le fer lorsque le projectile frappait le but. Cependant je surmontai cette difficulté de la manière suivante : j'arrangeai les fils métalliques du circuit de telle sorte, qu'avant que le boulet ne fût lancé par le canon, le courant d'un seul élément de très petites dimensions et réduit au degré convenable au moyen d'un rhéostat (1) aussi interposé dans le circuit, agissait sur l'électro-aimant. Lorsque le boulet arrivait au but, six éléments, sans la résistance du rhéostat, agissaient simultanément sur l'aimant. Mais, même avec ces précautions, qui sont efficaces jusqu'à un certain degré, il y a encore du temps de perdu durant l'attraction du fer par l'aimant, aussi bien que pendant son adhérence après que le courant a cessé. La différence de ces deux erreurs rendrait des approximations telles que $\frac{1}{500}$ ou $\frac{1}{1000}$ de seconde tout-à-fait incertaines. Toutefois l'erreur provenant de cette source peut se réduire facilement à moins de $\frac{1}{60}$ ou de $\frac{1}{100}$ de seconde, et dans mon opinion, un chronoscope qui divise la seconde en 60 parties et qu'on peut prouver ne donner jamais lieu à une erreur dépassant une seule de ces divisions, est préférable à un instrument offrant des divisions plus avancées et qui donnerait lieu à des erreurs embrassant bon nombre de ces divisions. Guidé par ces expériences, je fus en mesure de construire un chronoscope très simple et très efficace. Un échappement très simple était mis en mouvement par un poids suspendu à l'extrémité d'un bout de fil

(1) Une explication de cet instrument se trouve dans une description de plusieurs instruments et procédés pour déterminer les constants d'un circuit voltaïque, publiée dans les *Philosophical Transactions* de 1843, deuxième partie, et traduite dans les *Annales de chimie et de physique*. Cet instrument est représenté par la figure 1 des dessins qui accompagnent ce mémoire. Nous reproduirons cette description dans la partie théorique de ces recherches.
(*Note du Rédacteur.*)

enroulé dans une hélice creusée sur un cylindre fixé sur l'axe d'une roue à échappement. Sur cet axe était aussi adaptée une aiguille qui, conséquemment, avançait d'une division à chaque échappement. Quand il était nécessaire de prolonger le temps de l'expérience, la roue à échappement et le cylindre étaient établis sur des axes différents, et leur engrenage s'opérait au moyen d'une roue et d'un pignon ; dans ce cas, deux aiguilles étaient employées. Au moyen de cette construction, on évite l'accélération du mouvement qui aurait eu lieu s'il n'y avait pas eu d'échappement, et l'index franchit chaque division dans un même temps. Le poids était disposé de manière à pouvoir se régler, et la valeur d'une seule division était obtenue en divisant le temps de la chute entière par le nombre des divisions franchies dans cet intervalle. Mais des méthodes encore plus exactes peuvent être employées.

» Au moyen de cet instrument, j'ai mesuré le temps mis par une balle de pistolet à parcourir différentes portées, avec des charges différentes de poudre. La répétition de ces expériences donna lieu à des résultats passablement constants, présentant rarement une différence de plus d'une division du chronoscope (1). Je mesurai aussi la chute d'une balle, de différentes hauteurs, et la loi des vitesses accélérées fut obtenue avec une rigueur mathématique. Avec l'appareil dont je me servis pour cette dernière expérience, je pouvais mesurer la chute d'une balle de la hauteur d'un pouce. Il serait difficile, sans le secours des dessins, de donner une idée des diverses dispositions que j'ai adoptées pour rendre l'instrument applicable à différentes séries d'expériences; mais je puis mentionner que parmi d'autres applications je me propose de l'employer pour mesurer la vitesse du son à travers l'air, l'eau et à travers les massifs de rocs, avec une approximation qu'on n'a jamais obtenue jusqu'à présent.

» Indépendamment de l'instrument que je fournis à M. de Konstantinoff en avril 1843, le professeur Christie en fit déposer un au cabinet de physique de l'Académie militaire de Woolwich, et, vers

(1) Ces expériences, dans lesquelles je fus assisté par sir James South et M. Purday, célèbre armurier, eurent lieu, en octobre 1842, dans les terrains attenant à l'observatoire de Camden-Hill.

le même temps, un autre fut fait par M. R. Adam, qui s'en est constamment servi depuis dans ses cours à l'*United service Museum* et ailleurs.

» Je mentionnerai une modification de l'appareil qui est importante pour certaines séries d'expériences : au lieu de rompre la continuité du circuit et de la reconstituer ensuite comme nous l'avons dit jusqu'ici, l'électro-aimant est maintenu en équilibre au moyen de deux courants égaux et opposés : en interrompant le premier circuit, l'équilibre est détruit, et en interrompant le second, le courant occasionné par la destruction de l'équilibre cesse. Le second circuit est rompu par une balle traversant un cadre sur lequel est tendu un fil métallique très fin disposé en lignes parallèles et très serrées, et formant partie du circuit. Cette disposition fournit les moyens d'employer un chronoscope totalement différent du premier. Deux pendules, dont l'un à demi-secondes, et l'autre d'un mouvement un peu plus accéléré, sont maintenus chacun aux extrémités de leurs arcs d'oscillation par un électro aimant. Quand la balle s'échappe du fusil, l'un des pendules est libéré, et quand il rompt le fil métallique du cadre, l'autre pendule est aussi libéré. On compte alors le nombre d'oscillations d'un des pendules jusqu'à ce que le mouvement des deux pendules coïncide, et, d'après ce fait, on détermine aisément le temps qui sépare les commencements des premières oscillations des deux pendules.

» Les instruments que je construisis réellement n'avaient d'autre objet que d'indiquer le temps écoulé entre le mouvement initial et le mouvement final d'une balle parcourant la trajectoire. M. de Konstantinoff désirait un instrument mesurant les temps correspondant aux divisions successives de la trajectoire. Bien que je pensasse alors et que je sois encore de l'avis qu'il est préférable de les déterminer au moyen de décharges successives, j'imaginai un appareil à cet effet ; mais je n'en entrepris pas la construction en raison de son prix plus élevé et de sa plus grande complexité, bien qu'il fût l'objet de fréquentes conversations entre nous. C'était afin de réaliser ces idées que M. de Konstantinoff, après son départ d'Angleterre et pendant son séjour à Paris, s'adressa subséquemment à M. Bréguet, afin de profiter de l'habileté et de l'ingéniosité bien connues de cet ingénieur. Je suis parfaitement persuadé que M. de Konstan-

tinoff n'eut jamais l'intention de s'attribuer cette invention, et que c'est entièrement sans son approbation et à son insu que M. Bréguet vient de le faire (1).

» Quant à l'instrument décrit par M. Bréguet, je le considère comme beaucoup moins exact, beaucoup plus compliqué et plus coûteux qu'aucun de ceux que j'ai précédemment inventés. Quand il est réduit uniquement à déterminer les mouvements initial et final d'une balle, l'instrument de M. Bréguet est muni de cinq électro-aimants, chacun avec son mécanisme, tandis que le mien atteint le même résultat avec un seul électro-aimant; et lorsque les différentes divisions d'une même trajectoire doivent être étudiées, M. Bréguet propose un aimant complémentaire et fait d'autres additions à chacune des partitions que doit traverser la balle. Si M. Bréguet avait été mieux informé des moyens par lesquels je devais obtenir une suite de mesures successives correspondant à une même trajectoire, il aurait trouvé que ce qu'il propose d'obtenir, même avec une douzaine d'électro-aimants, le serait d'une manière plus efficace au moyen d'un seul. Voici quel était mon plan :

» Un cylindre exécute un mouvement de rotation autour d'une vis, de façon à avancer d'un quart de pouce par révolution; à une des extrémités du cylindre est adaptée une roue dentée d'un diamètre un peu plus grand que celui du cylindre et qui s'engrène avec un pignon dont la longueur est égale à la portion totale d'axe que doit franchir le cylindre dans ses révolutions successives. Ce pignon communique avec des rouages mis en mouvement par un poids suspendu à l'extrémité d'un fil qui tourne autour d'un cylindre, et le rouage est muni d'un régulateur qui en égalise le mouvement; un crayon adapté à l'extrémité d'un petit électro-aimant est amené en contact avec le cylindre et y trace une hélice qui est interrompue chaque fois que le courant cesse. J'empruntai l'idée de la partie chronoscopique de cet appareil d'un instrument destiné à mesurer de très petits intervalles de temps, inventé par feu le docteur Young,

(1) « Je joins ici un extrait d'un écrit que me donna M. de Konstantinoff avant de quitter Londres :

« M. Wheatstone ayant eu la complaisance de me faire confectionner un » appareil complet, de son invention, pour mesurer la chute des corps et les » vitesses initiales des projectiles, je m'engage, etc.... »

et qui est décrit et dessiné dans son *Cours de philosophie naturelle*. On comprend aisément, d'après ce que j'ai rapporté, de quelle manière le commencement et la fin du mouvement d'nn projectile sont indiqués par cet instrument. Les périodes iutermédiaires sont enregistrées de la manière suivante : aux points voulus sur la igne de passage du projectile, on établit des cadres fermés par des réseaux en fil métallique ; le projectile rompt les fils métalliques en traversant les cadres ; on emploie autant de batteries voltaïques qu'il y a de paires de cadres dont les fils métalliques communiquent avec les pôles de ces batteries électriques, et avec le fil métallique de l'électro-aimant, de telle façon que le courant électrique traverse l'hélice en fil métallique de l'électro-aimant, ou cesse de la parconrir suivant que l'équilibre est alternativement détruit ou rétabli par la rupture successive des fils métalliques des cadres. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire que la résistance des différents fils métalliques soit convenablement proportionnée.

» Pour conclure, j'ajouterai que l'application de mon télégraphe électro-magnétique, en vue d'enregistrer à distance le nombre des révolutions d'une machine et de tous autres mouvements périodiques, a été exécuté par moi, sous des formes très variées, depuis plusieurs années. Un appareil pour cet objet, enregistrant jusqu'à dix milles, se voit dans le cabinet de physique de King's-Collegee depnis 1840, et fut montré à M. de Konstantinoff pendant son séjour à Londres. »

M. Bréguet se tint offensé de la note de M. Wheatstone; il vit, avec beaucoup de peine, que tous les reproches lui étaient adressés, et se plaignit qu'on l'attaquât vivement, tandis que l'on gardait envers M. de Konstantinoff les plus grands ménagements. N'ayant pas obtenu satisfaction, il réclama en ces termes dans la séance de l'Académie du 9 juin 1845.

Réponse de M. Bréguet.

« La réclamation de M. Wheatstone, insérée dans l'avant-dernier *Compte-rendu*, a encore plus excité mon étonnement qu'elle ne m'a blessé. Il n'y avait vraiment ni motif ni prétexte pour m'attribuer un rôle quelconque dans une affaire à laquelle je dois rester complétement étranger. Je viens de parler de prétexte ; car je ne saurais

admettre, quoique cette opinion soit assez répandue, que l'illustre savant anglais, avec lequel je n'ai eu jusqu'ici que de bons rapports, ait changé de sentiments à mon égard, depuis que j'ai eu l'honneur de prendre part aux travaux de la commission qui a présidé à l'établissement et au succès du télégraphe électrique dans notre pays.

» Que se passa-t-il, en effet, entre M. de Konstantinoff et moi? Je l'ai dit dans ma lettre à l'Académie. Cet officier russe, arrivant d'Angleterre, avait pensé à un instrument destiné à mesurer la vitesse des projectiles dans différents points de la trajectoire; M. de Konstantinoff m'apprit qu'il avait parlé de ce problème à M. Wheatstone, circonstance que je n'ai pas tenue cachée. Mon intervention dans la construction de la machine a consisté dans l'application des moyens physiques et mécaniques dépendants de l'art que je cultive, et sur lesquels M. Wheatstone n'avait certainement rien publié. Au surplus, toute discussion à cet égard serait aujourd'hui superflue, puisque le physicien anglais critique mes procédés, et en propose d'autres qu'il croit être meilleurs; je me permettrai de ne pas être de son avis : les expériences de Saint-Pétersbourg, dont j'attends les résultats, décideront beaucoup mieux que des critiques vagues ne pourraient le faire, si j'ai méconnu les difficultés du problème. Pour le moment, je me borne à une seule réflexion, elle mettra l'Académie en mesure de prononcer un jugement éclairé sur ce fâcheux accident.

» M. Wheatstone était à Paris en décembre 1844; un jour qu'il me fit l'honneur de venir dîner chez moi, je lui montrai en présence de M. Regnault, qui certainement se le rappellera, le dessin détaillé de la machine de M. de Konstantinoff; cette communication loyale ne fut de la part de M. Wheatstone l'objet d'aucune observation. »

Faut-il conclure de cette réplique que la priorité d'invention du chronoscope appartient réellement à M. de Konstantinoff? Non, sans doute, et telle n'a pas été l'intention de M. Bréguet. Le savant artiste a voulu une seule chose, que l'accusation de plagiat ne pût pas l'atteindre. Et, en effet, s'il faut trouver un coupable, le coupable ne peut être que M. de Konstantinoff. Il était permis à M. Bréguet d'ignorer ce que M. Wheatstone avait conçu en 1840,

et qu'il avait exécuté à Londres dans les trois dernières années. M. de Konstantinoff, lui, savait tout; il devait désavouer la note de M. Bréguet, si elle était inexacte, et la responsabilité en retombe sur lui. J'accorde que M. Wheastone a eu tort de ne pas s'en prendre principalement au capitaine russe; en admettant toutefois qu'il eût pu relever avec modération dans le mémoire de M. Bréguet certaines phrases, dans lesquelles ses droits sont méconnus.

Quant à la circonstance du dîner, M. Wheatstone a naïvement répondu que les dessins lui furent en effet présentés, mais qu'ils étaient trop compliqués pour qu'il songeât même à s'en rendre compte et à les critiquer au moment de se mettre à table, ou en sortant de table; il ajourna donc son jugement, et il ne lui vint pas en pensée que son silence, si facile à expliquer, serait un jour interprété contre lui. Il ajouta que cette interprétation l'étonnait d'autant plus que, dans un entretien qu'il eut avec M. Bréguet, à l'hôtel Meurice, postérieurement au dîner dont il est ici question, il lui fit toutes les observations critiques renfermées dans la note présentée à l'Académie. M. Bréguet, à son tour, se souvient-il de cette entrevue?

La note suivante est devenue une nouvelle phase de cette discussion.

Remarques sur le mémoire de M. Pouillet, par M. Jacobi.

« Un article du *Compte-rendu*, tome XIX, p. 1384, me donne lieu à une réclamation que je vous prie de vouloir bien présenter à l'Académie. Cette réclamation a trait au moyen qu'a indiqué M. Pouillet pour connaître l'effet qu'exerce sur l'aiguille aimantée un courant galvanique de très petite durée. Dans la séance de l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg du 31 janvier 1838 (voir *Bulletin scientifique*, t. III, p. 333), M. le secrétaire perpétuel présenta à l'Académie une lettre que je lui avais adressée et dans laquelle j'avais décrit mes expériences, faites à Dorpat en 1836 ou 1837, pour connaître la limite de la vitesse avec laquelle l'électricité se développe dans les conducteurs. Le moyen dont je m'étais servi alors pour obtenir un courant dont la durée ne fût que de $\frac{1}{9000}$ de seconde était le même, à quelques différences de construction près, que celui

que M. Pouillet a employé récemment. N'ayant pas eu alors à ma disposition un galvanomètre assez sensible, et ayant calculé qu'un courant faible et de petite durée pourrait bien traverser le fil conducteur sans que le mouvement imprimé à l'aiguille fût appréciable, je me suis contenté de l'apparition de l'étincelle pour constater l'existence du courant. Le résultat de mes expériences fut que la vitesse de l'électricité voltaïque n'est pas moindre de 1,260,000 pieds par seconde. Néanmoins, la limite de cette vitesse n'a pas encore été atteinte par mes expériences.

» Il y a environ deux ans que je me suis servi, pour des essais télégraphiques, d'un appareil de construction particulière, que j'appelle télégraphe acoustique à cause du son continu qui s'y produit par des courants interrompus jusqu'à cent cinquante et deux cents fois par seconde. Ce télégraphe, transmettant ce son à une distance de 25 kilomètres ou à travers un circuit d'à peu près 50 kilomètres (50 verstes), on peut conclure, conformément aux vues adoptées généralement, que la vitesse de l'électricité n'est pas moins de 7,500 ou 10,000 kilomètres par seconde, ou, si l'on veut, de 20,000 kilomètres, vu que le courant se forme et disparaît deux cents fois par seconde, comme je l'ai annoncé dans un discours public tenu au commencement de l'année dernière et imprimé dans le *Recueil des actes de l'Académie*. Ce dernier mode d'expérimentation pourra servir en même temps pour décider cette question. La limite de la vitesse dépend-elle de la longueur absolue du conducteur ou seulement de sa résistance?

» Pour éviter tout malentendu, j'ajoute que ma réclamation ne se rapporte aucunement à l'application que M. Pouillet propose de faire du galvanomètre, considéré comme pendule balistique, pour mesurer des intervalles de temps extrêmement courts, etc. Je ne puis m'empêcher de faire remarquer que cette proposition, quelque spirituelle qu'elle soit, ne pourra pas lutter avantageusement avec l'ingénieux appareil électro-balistique de notre savant officier d'artillerie, M. de Konstantinoff. »

En communiquant cette réclamation à l'Académie, M. Arago fit remarquer que la dernière phrase de la lettre de M. Jacobi confirmait parfaitement ce que M. Bréguet avait dit de ses rapports avec M. le capitaine de Konstantinoff. Toute discussion de priorité sur

l'idée première de l'appareil destiné à mesurer la vitesse des projectiles ne pourra donc plus, disait l'illustre secrétaire perpétuel, avoir lieu désormais qu'entre M. le capitaine russe et M. Wheatstone.

Arrivée à ce point, la question est, il me semble, facilement décidée; car d'abord ce passage de la communication faite par M. Quételet à l'Académie de Bruxelles, le 17 octobre 1840, quatre ans avant que M. de Konstantinoff parût sur l'horizon : « L'auteur (M. Wheatstone compte aussi employer ses procédés pour mesurer avec une précision qu'il croit pouvoir porter à un centième de seconde la vitesse des projectiles) assure pleinement à M. Wheatstone, quant à l'idée du moins, la priorité d'invention du chronoscope. En second lieu, les détails si circonstanciés dans lesquels est entré M. Wheatstone, la livraison même d'un appareil, prouvent jusqu'à l'évidence, il me semble, que l'initiative de la construction et des expériences appartiennent non moins certainement au professeur de King's College. Une seule question reste encore indécise : des instruments imaginés et construits par MM. Wheatstone et de Konstantinoff, quel est le plus parfait? Nous l'examinerons dans la partie descriptive de ce mémoire, si nous parvenons à nous procurer les dessins qui ont servi à leur construction. Nous avons entendu dire à plusieurs personnes que le mécanisme décrit par M. Wheatstone pèche contre certaines règles essentielles de l'art. Cela est possible; l'illustre professeur ne se pose pas en mécanicien accompli. »

Arrivons enfin à la partie théorique de ce mémoire.

PARTIE THÉORIQUE.

La théorie du télégraphe électrique comprend trois grandes questions qui feront l'objet d'autant de sections séparées. Il fallait d'abord constater que la vitesse de propagation du fluide électrique est assez grande pour que ce moyen de communication puisse produire les résultats étonnants qu'on en attend. Il fallait, en second lieu, étudier les rapports qui, dans la transmission des courants électriques, lient la puissance à la résistance, pour arriver à déterminer avec certitude sous quelles conditions une pile donnée ou un appareil électro-magnétique réaliseront à distance les effets d'aiman-

tation nécessaires à la production des signaux. Il fallait enfin reconnaître que la terre ou le sol humide fait à un assez haut degré l'office de conducteur d'électricité, ou de réservoir soutirant pour dispenser de l'emploi d'un second fil. Ces trois grandes questions sont aujourd'hui pleinement résolues, et leur solution est due surtout aux recherches si originales et si patientes de M. Wheatstone. Nous reproduisons avec bonheur les mémoires qu'il a publiés à ce sujet.

PREMIÈRE SECTION.

Vitesse de propagation de l'électricité.

Expériences anciennes.

Otto de Guericke, Gray et Vheeler s'aperçurent les premiers que l'électricité se propageait avec une très grande vitesse. Tout le monde connait les célèbres expériences de Le Monnier et de l'abbé Nollet, qui, en présence de la cour de France, firent passer la décharge d'une bouteille de Leyde dans une chaine formée, une fois entre autres, de plus de six cents personnes: toutes reçurent la commotion au même instant indivisible.

Le 14 et le 18 juillet 1747, Watson, aidé de plusieurs savants anglais, s'assura que la décharge électrique parcourait sans peine un fil métallique disposé le long du pont de Wetsminster et revenait à travers la masse de l'eau de la Tamise. Il constata, le 14 août de la même année, qu'un circuit formé de deux milles de fil de fer et deux milles de terre humide était franchi avec facilité par l'électricité dans un temps inappréciable, insaisissable.

Voilà tout ce qu'on savait sur ce sujet si important quand M. Wheatstone lut à la Société royale de Londres, en 1834, un mémoire dans lequel il décrivait de nouveaux procédés d'expérimentation, et donnait pour la première fois des mesures précises de la durée de l'étincelle électrique et de la vitesse de propagation de l'électricité. Ce mémoire a été traduit assez récemment par M. Elie Wartman; nous reproduirons avec quelques changements sa traduction qui a été insérée dans les *Archives de l'électricité*. Mais, pour la faire mieux comprendre, nous la ferons précéder du

si admirable article par lequel M. Arago a su rendre accessibles à tous, dans l'*Annuaire de* 1828, les principaux résultats du travail de M. Wheatstone.

Sur la durée d'un éclair de première ou de seconde classe, par M. ARAGO.

« Cette question a plus d'importance qu'on ne l'imaginerait au premier coup d'œil; sa solution toute récente repose sur des considérations assez délicates. Elles sont du reste empruntées en partie à un jeu d'enfant, je veux dire à cette expérience que chacun a faite et a vu faire, et qui consiste à produire un *ruban continu de lumière* par le mouvement rapide d'un petit charbon enflammé.

» Supposons que le charbon décrive une circonference de cercle et qu'il emploie à faire le tour entier un dixième de seconde seulement. Alors, l'expérience l'a montré, on voit une circonférence de lumière, dans laquelle l'œil le plus attentif ne voit aucune lacune, aucune solution de continuité. On dirait que le charbon occupe simultanément tous les points de la courbe, et ces points cependant il les atteint dans sa marche l'un après l'autre; et il s'écoule un dixième de seconde entre le moment où il quitte l'un d'eux, et le moment où il y revient.

» Une conséquence importante découle de cette expérience. Elle deviendra évidente si, pour un instant, on veut bien concentrer son attention sur un seul point : sur le point le plus élevé, par exemple, de la circonférence de cercle que le charbon parcourt.

» Quand le charbon enflammé occupe ce point le plus élevé, les rayons de lumière qui en émanent forment son image, dans l'œil de l'observateur, sur une certaine partie de la rétine. Dès que le charbon tourne, cette image doit également tourner; et cela arrive en effet, puisque le charbon se voit toujours dans sa véritable position. La première image semblerait devoir s'évanouir en même temps, la cause qui l'engendrait ayant, sinon disparu, du moins changé de lieu : loin de là, le charbon a le temps de faire un tour entier, de revenir à sa première place, de reproduire dans l'œil l'image du point le plus élevé de la courbe, avant que la sensation résultant de son premier passage par le même point se soit effacée.

» Les impressions que nous recevons par la vue ont donc une certaine durée. L'œil humain, du moins, est constitué de manière qu'*une sensation lumineuse ne s'évanouit qu'un dixième de seconde après la disparition complète de la cause qui l'a produite.*

» Nous venons de reconnaître qu'un point rayonnant qui n'emploie qu'un dixième de seconde à faire un tour entier donne naissance, pour notre œil, à une circonférence de cercle qui est lumineuse dans tout son contour. Il est évident que si deux, trois, dix, cent points rayonnants placés en ligne droite, les uns à la suite des autres, entre le premier point et le centre de *rotation*, tournent simultanément avec la même vitesse, ils donneront naissance à deux, à trois, à dix, à cent circonférences de cercle lumineuses et concentriques. Enfin, chacun comprendra que si ces divers points rayonnants mobiles sont continus, que s'ils se touchent, que s'ils sont assez nombreux pour former, dans l'état de repos, une ligne de lumière continue entre le premier point et le centre de rotation, les circonférences qu'ils engendreront en tournant se toucheront aussi, et qu'aux deux, trois, dix, cent circonférences de cercle séparées de la précédente expérience, succédera une *surface circulaire entièrement éclairée.*

» Il en est, comme on voit, de cette expérience comme de celle que nous faisions avec des points isolés. Une *ligne* lumineuse qui tourne autour d'une de ses extrémités engendre une surface de lumière *circulaire*, quand elle revient à chacune de ses positions successives avant que se soit effacée chacune des images qu'elle avait produites dans l'œil pendant une première révolution, c'est-à-dire quand la ligne décrit la circonférence entière en un *dixième* de seconde.

» Au lieu d'une seule ligne lumineuse mobile, supposons maintenant qu'il y en ait quatre, toutes semblables quant à l'intensité, placées rectangulairement entre elles, ou de manière qu'elles partagent la circonférence en quatre parties égales. La vitesse de rotation de l'appareil n'aura plus besoin d'être d'un tour complet par *dixième* de seconde; une vitesse *quatre fois moindre*, une vitesse d'un tour par *quatre dixièmes de seconde* suffira à la production d'une surface circulaire qui semblera de même entièrement lumineuse.

» Que faut-il, en effet, pour cette continuité d'éclat? Il faut qu'aucun point du cercle ne soit privé de *lumière réelle* pendant plus de 1/10 de seconde. Eh bien! arrêtons-nous par la pensée au moment où une des quatre lignes lumineuses est verticale. La ligne qui la suit deviendra verticale à son tour dans le quart du temps que consomme une révolution complète dans le quart de 4/10 ou dans 1/10 de seconde. La troisième ligne rotative succédera de même à la seconde, dans la verticale, après 1/10 de seconde, etc., etc. Ainsi, lorsque, dans l'œil, l'*image* verticale de la première ligne allait s'évanouir, la seconde des quatre lignes lumineuses rectangulaires de l'appareil rotatif vient la renouveler; lorsque l'image verticale de cette seconde ligne atteint le terme de sa durée, la troisième ligne en occupe la place: la quatrième ligne, à son tour, se trouve dans la verticale au moment où la troisième ligne allait s'effacer. La première ligne, enfin, va, à point nommé, reprendre la position où d'abord nous l'avions supposée, pour remplir de sa lumière la verticale que la disparition de l'image de la quatrième ligne aurait laissée obscure.

» Je viens de montrer en détail, avec trop de détails peut-être, comment quatre lignes lumineuses, placées rectangulairement et décrivant un cercle autour de leur point d'intersection en 4/10 de seconde, éclairent d'une lumière en apparence continue le rayon vertical de ce cercle. Tout le monde remarquera que les mêmes raisonnements se seraient appliqués à un rayon horizontal ou à un rayon incliné; le mode de production des surfaces lumineuses, par la rotation de lignes simples, est donc suffisamment expliqué.

» En résumé:

» Une ligne *lumineuse* engendre, en apparence, une surface circulaire de lumière, *quand elle tourne assez vite autour d'une de ses extrémités pour décrire la circonférence entière en un dixième de seconde de temps.*

» Ceci est un point de fait, lié à la conformation, à la sensibilité de l'œil humain. Les choses sont ainsi, mais elles auraient pu être autrement. L'expérience seule devait faire connaître la vérité.

» La vérité expérimentale une fois établie, un *dixième* de seconde étant, dans la rotation d'une ligne, la moindre vitesse indispensable à la production d'une aire circulaire de lumière continue, il en

résulte nécessairement, mathématiquement, que les moindres vitesses de rotation avec lesquelles dix, cent, deux cents lignes également espacées entre elles produiront le même effet en tournant autour de leur commune intersection, seront dix, cent, deux cents fois moindres que dans le cas d'une ligne unique, c'est-à-dire qu'elles correspondront à une seconde, à dix ou à vingt secondes par tour entier.

» Rien, dans tous nos raisonnements, n'implique que les lignes rotatives brillent d'une lumière propre. On doit donc s'attendre à observer des phénomènes identiques, soit qu'on fasse tourner des lignes lumineuses par elles-mêmes ou des lignes lumineuses par réflexion ; il faut seulement, dans ce dernier cas, que les lignes soient d'une telle nature, d'une telle forme, et tellement disposées relativement à la lumière éclairante, que l'œil puisse les apercevoir *également* dans toutes les positions qu'elles prennent en tournant. Tels seraient, par exemple, les *rais plats et non polis* d'une roue en argent mat ; les *rais plats et non polis* d'une roue de quelque nature qu'elle fût, couverts d'une couche de blanc de céruse, etc., les uns et les autres éclairés de face par un réverbère, par une lampe à double courant d'air, ou même par une simple bougie. Les rais n'étant pas polis, ne feraient pas l'office de miroirs dans aucune de leurs positions. On les verrait seulement par cette sorte de lumière que les corps éclairés s'assimilent pour nous la restituer *dans tous les sens*, ou à l'état de lumière diffuse : le vermillon avec une teinte prononcée, le laiton avec une nuance jaune évidente, l'argent mat et le blanc de céruse avec une blancheur parfaite, etc. Un rais d'argent mat tournant autour de ses extrémités en un dixième de seconde, engendrera une surface circulaire blanche ; quatre, dix, cent rais de la même matière également espacés, produiront le même effet, s'ils tournent respectivement en quatre dixièmes de seconde, en *une* seconde, en dix secondes.

» Tenons-nous un moment à ce dernier cas, à celui où cent rais minces de métal, formant entre eux des angles égaux, donnent naissance, pour l'œil, à une surface de lumière circulaire. Cet effet commence à se manifester quand la vitesse de rotation est d'un tour par dix secondes. Une vitesse moindre ne suffirait pas ; mais toute vitesse plus grande, quelle que grande qu'elle fût, conduirait mieux encore, s'il est possible, au même résultat.

» Dans le nombre infini de vitesses plus grandes que celle qui est strictement nécessaire pour que les rais tournants paraissent être une surface continue, faisons un choix afin de fixer nos idées; supposons que nos cent rais fassent un tour entier en un dixième de seconde, ce qui est une vitesse très facile à obtenir. Chaque rais emploiera alors le centième de cette quantité, ou $\frac{1}{1000}$ de seconde pour aller d'une quelconque de ces positions à celle qu'occupe au même moment le rais précédent.

» Retenons bien ce nombre (*un millième de seconde*) et introduisons dans notre expérience une dernière condition. Supposons que la lumière qui éclaire les cent rais de la roue tournante, que la lumière sans la présence de laquelle ces rais ne se verraient pas, puisqu'il ne sont point lumineux par eux-mêmes, ne brille pas d'une manière continue. Admettons que tournant toujours uniformément dans l'obscurité avec la vitesse convenue d'un tour à chaque dixième de seconde, la roue soit éclairée par une lumière qui ne se montre qu'un instant. Eh bien! c'est la longueur de cet instant, c'est la durée de l'apparition de la lumière éclairante, qui déterminera si la roue éclairée apparaîtra sous la forme d'une roue véritable ayant du centre à sa circonférence des pleins et des vides, des secteurs brillants et des secteurs obscurs, ou sous la forme d'une surface continue également lumineuse partout.

» Mettons d'abord que la lumière ne frappe la roue tournante qu'un instant *infiniment court*. Cette lumière ne saisira, n'éclairera les divers rais que *dans une seule de leurs positions*. Chaque rais, sur cette position unique et spéciale, produira dans l'œil une image dont nous avons expérimentalement fixé la durée à un *dixième de seconde*. La roue tournante sera donc aperçue pendant un dixième de seconde, sous sa véritable forme et comme si elle était immobile.

» Passons à une autre supposition que j'appellerai extrême (cette expression sera bientôt justifiée). Admettons que la lumière éclairante *ait duré un millième* de seconde.

» Un *millième* de seconde est, par hypothèse, le temps que chaque rais emploie à passer d'une de ses positions à celle qu'occupe *au même moment* le rais qui le précède. Dans ce court intervalle de

temps, il n'y aura donc pas à l'intérieur de la roue tournante une seule *ligne idéale* allant du centre à la circonférence; il n'y aura pas *un seul rayon* (c'est le terme géométrique) qui, chacun à son tour, ne soit occupé par l'un ou par l'autre des rais matériels; il n'y aura pas une de ces mille et mille positions, où les rais ne reçoivent l'action de la lumière éclairante, où ils ne doivent aller former une image dans l'œil. Ces images, qu'on se le rappelle bien, durent un dixième de seconde, c'est-à-dire cent fois plus qu'il n'en faut pour que *tous les rayons géométriques* de la roue aient lancé une ligne lumineuse à l'observateur. Ainsi, dans un certain moment, toutes les lignes lumineuses en question se verront simultanément; ainsi, la roue, quoiqu'elle se compose de vide et de plein, paraîtra une surface continue, éclairée sur tous ses points.

» Si maintenant on essayait d'appliquer les mêmes considérations au cas où la durée de la lumière serait moindre que le temps dont chaque rais a besoin pour se transporter, en tournant autour du centre de la roue, d'une de ses positions à celle qu'occupe au même moment le rais qui le précède, chacun verrait sans difficulté combien les résultats de l'expérience devraient être différents. Mettons, par exemple, que la durée de l'apparition de la lumière ne s'élève qu'à la moitié de la précédente, qu'elle ne soit que *d'un demi-millième* de seconde.

» En *un* DEMI-*millième* de seconde, chaque rais matériel parcourt seulement la moitié de l'intervalle angulaire compris entre une de ses positions et la position simultanée du rais qui le précède. Quand la lumière se montre, chaque rais mobile est saisi, est éclairé dans une de ses positions; quand elle disparaît, chaque rais n'est encore parvenu qu'à la moitié de la course qu'il avait à parcourir pour atteindre la position du rais précédent. A l'instant *mathématique* du surgissement de la lumière, tous les rais comprenaient entre eux certains secteurs. Eh bien! il y a précisément *la moitié* de chacun de ces secteurs dans laquelle aucun rais n'a pénétré pendant la durée que nous venons d'assigner à l'apparition de la lumière. Tous ces espaces vides de matière n'ont pu réfléchir vers l'observateur aucun rayon de la lumière éclairante, conséquemment la roue a dû paraître composée de la réunion d'une série de secteurs alternativement obscurs et lumineux.

» Ceux qui n'ignoraient pas que la sensation engendrée dans l'œil par l'action d'une lumière quelconque dure encore un peu de temps après que la lumière a réellement disparu, devaient, ne fût ce qu'à raison de cette circonstance, ne pas trop espérer une solution exacte de la question posée en tête de ce long chapitre; et cependant, en définitive, l'obstacle apparent est devenu lui-même le moyen d'investigations, et nous sommes arrivé à opérer sur de simples *millièmes* de seconde, mieux qu'on ne pourrait vraiment le faire, par les moyens habituels, sur les secondes entières. Qu'on réfléchisse un moment aux détails de l'expérience, et mon assertion ne paraîtra pas exagérée.

» Je veux savoir la durée de chacun des éclairs qui sillonnent le ciel pendant une nuit obscure. En face de la région où existe l'orage, j'établis une roue en métal portant cent rais déliés. Un mouvement d'horlogerie lui donne la vitesse continue et régulière de dix tours par seconde de temps, ou d'un tour entier par dixième de seconde. Je me place en observation entre la roue et les nuées orageuses, de manière cependant à ne pas empêcher la lumière des éclairs d'arriver librement à la roue tournante. Cette roue, je ne l'aperçois pas ordinairement, puisque, par hypothèse, tout est dans l'obscurité. Un éclair se montre : à cet instant la roue est éclairée, je dois donc la voir, et je la vois, en effet, mais dans des conditions différentes, suivant la durée de l'éclair. L'éclair n'a-t-il brillé que pendant un temps *infiniment court*, la roue se sera montrée, durant un dixième de seconde, comme *cent rais lumineux*, immobiles et de la largeur apparente des rais véritables.

» L'éclair a-t-il duré un *millième* de seconde, la roue aura semblé *un cercle plein de lumière du centre à la circonférence.*

» A des durées de l'éclair d'un *demi-millième de seconde, d'un tiers, d'un quart, d'un cinquième*, etc., *de millième* de seconde, correspondront des apparences circulaires où il y aura respectivement *un demi, deux tiers, trois quarts, quatre cinquièmes de la surface totale du cercle*, complétement privés de lumière.

» En faisant la roue tournante de plus en plus grande, l'échelle superficielle des mesures deviendra tout aussi étendue, tout aussi appréciable qu'on le désirera. Ajoutons qu'en variant la vitesse de rotation, on peut même se soustraire à la nécessité d'*évaluer à l'œil*

le rapport de la partie éclairée à la partie obscure, qu'on peut tout réduire à la détermination de la vitesse sous laquelle le cercle paraît entièrement éclairé. Une vitesse de la roue d'un dixième de seconde par tour ne donne-t-elle pas lieu à un cercle *continu* de lumière? On augmente graduellement cette vitesse, de manière enfin que le cercle continu apparaisse. Si cet effet ne commence à se réaliser qu'au moment où la vitesse de la roue est d'un tour par *un demi* ou par *un tiers de dixième de seconde*, ce sera la preuve que l'éclair n'aura eu qu'une durée d'une *demi* ou d'un *tiers de millième de seconde*, et ainsi de même pour tous les autres nombres qu'on pourrait trouver.

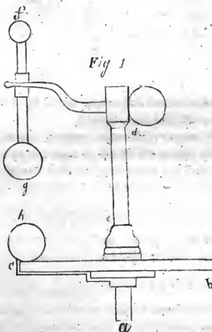
» Parvenu au terme de cette longue et minutieuse explication, disons qu'après avoir multiplié autant que possible les raies de la roue, qu'après avoir eu recours aux plus grandes vitesses qu'on puisse déduire avec sûreté et uniformité de l'emploi des engrenages, la roue tournante présentée, dans des temps d'orage, aux éclairs de la première ou de la seconde classe, n'a jamais paru une surface continue: que ses rais se voyaient aussi nettement, aussi distinctement que si la roue était en repos; qu'ils ne paraissaient aucunement élargis. Nous resterons fort en deçà de la conséquence que cette expérience autoriserait, en nous bornant à dire que les éclairs les plus brillants, les plus étendus de la première et de la seconde classe, même ceux qui paraissent développer leurs feux sur toute l'étendue de l'horizon visible, n'ont pas une durée égale *à la millième partie d'une seconde de temps!* »

Après ce brillant préambule, entrons en matiere:

Expériences destinées à mesurer la vitesse de l'électricité et la durée de la lumière électrique, par M. Wheatstone.

Le passage rapide d'un point lumineux par lui-même ou par réflexion paraît être, comme on sait, une ligne continue, à cause de la durée de la sensation visuelle. Il n'y a cependant rien, dans une pareille ligne, qui puisse permettre à l'œil de déterminer la direction ou la vitesse du mouvement qui l'a produite. J'ai pensé, depuis quelques années, que si le mouvement dont la ligne est animée était composé avec un autre connu de direction et de vitesse, il

serait facile de déterminer par l'inspection de la ligne droite ou courbe résultante, la vitesse et la direction du premier. En suivant cette idée, je fis une série d'expériences relatives au mouvement oscillatoire des corps sonores; mais elles sont trop nombreuses et trop peu liées à l'objet de la présente communication pour être détaillées ici. Les résultats satisfaisants que j'obtins me portèrent à rechercher si un procédé semblable ne pourrait rien nous apprendre touchant la direction et la vitesse de l'étincelle électrique. La méthode que je comptais employer fut indiquée dans une leçon faite par le docteur Faraday, en juin 1830, à l'Institution royale. Mon attention fut de nouveau attirée sur ce sujet au commencement de l'année dernière, et voici par quel procédé j'essayai d'atteindre le but que j'avais en vue.



La figure 1 représente l'appareil employé; il était vissé en *a* au pivot d'une machine à rotation, de manière à pouvoir prendre un mouvement révolutif rapide. Les parties supérieures et inférieures,

toutes formées de laiton, excepté le disque en bois *bc*, étaient isolées les unes des autres par une forte colonne en verre *de*. Un morceau de feuille d'étain réunissait la boule *h* avec *a*, et la boule supérieure *g* pouvait s'ajuster à diverses distances de l'inférieure *h*. Lorsque la boule *f* était placée à une petite distance du conducteur d'une machine électrique, une étincelle franchissait l'intervalle et passait ainsi entre les boules *g* et *h*, qu'on pouvait éloigner de 4 pouces l'une de l'autre. Il est évident que si le mouvement angulaire des boules avait un rapport quelconque appréciable avec la vitesse de propagation de l'électricité, il devait y avoir une déviation entre les extrémités supérieures et inférieures de la ligne. L'instrument se mouvant de gauche à droite, si l'étincelle allait de haut en bas, la

Fig. 2.



Fig. 3

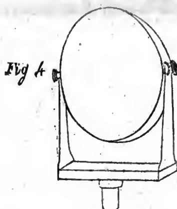


déviation de la ligne devait être comme dans la fig. 2, et si elle allait de bas en haut, comme dans la figure 3.

Lorsqu'on fit tourner rapidement l'appareil, les étincelles passèrent exactement comme s'il eût été en repos, et on n'observa aucune déviation de l'une quelconque des deux étincelles à partir de la même verticale. L'appareil faisait cinquante tours par seconde; et comme on aurait pu facilement apprécier une différence de $\frac{1}{20}$ de la circonférence décrite par les boules, si elle eût existé, on peut en conclure avec certitude que l'étincelle passait à travers l'air et les conducteurs métalliques en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde.

II. N'ayant pas réussi à observer une déviation de l'étincelle par les moyens précédents, je jugeai nécessaire de continuer mes recherches à l'aide de procédés plus efficaces. Il me parut que le mouvement de l'image d'une étincelle électrique réfléchie sur un miroir plan atteindrait aussi bien mon but que le mouvement de l'appareil lui-même par lequel l'étincelle devait passer. D'autres

avantages résultaient évidemment de cette substitution, puisque le mouvement apparent de l'image réfléchie par un petit miroir mobile devient égal à un mouvement considérable lui-même, et que le même miroir peut être présenté à l'objet quelconque qu'on veut examiner, et forme ainsi avec sa machine motrice un instrument indépendant et universellement applicable. Ainsi deviennent possibles différentes expériences qui l'auraient été difficilement, ou même qui n'auraient pu avoir lieu, à cause des dimensions ou de l'immobilité de l'appareil.



La figure 4 représente la meilleure forme à donner au miroir mouvant. Il tourne sur un axe vertical et prend successivement toutes les positions azimutales. En plaçant devant lui, à une distance quelconque, un point lumineux tel que la flamme d'une chandelle, les positions successives de l'image réfléchie décriront un cercle dont le rayon sera égal à la plus courte distance entre le point lumineux et l'axe de rotation. L'image, ayant une vitesse angulaire double de celle du miroir, se mouvra d'un cercle entier pendant une demi-révolution de celui-ci, et si le dos du miroir est aussi une surface réfléchissante, l'image décrira deux cercles entiers pendant une révolution du miroir.

Si la rapidité du mouvement dépasse une certaine limite, les impressions faites sur la rétine par les images successives se con-

serveront, et l'œil placé d'une manière convenable verra une ligne lumineuse parfaitement continue, qui sera un arc du cercle décrit d'autant plus étendu que l'œil sera plus rapproché du miroir.

Si maintenant, tandis que le miroir est en mouvement, on déplace le point lumineux parallèlement à l'axe de rotation, la composition des deux mouvements de l'image (provenant l'un du mouvement de l'objet, l'autre de celui du miroir) donnera naissance à une résultante diagonale; et si on connait le nombre de tours faits par le miroir dans un temps donné, on en pourra déduire la direction et la vitesse du mouvement du point.

En vissant l'axe du miroir sur une machine à engrenage, j'ai été capable de lui faire faire cinquante tours par seconde. Par conséquent, l'image réfléchie d'un point lumineux parcourait un demi-degré dans $\frac{1}{72000}$ de seconde, la vitesse angulaire de l'image étant, comme nous l'avons remarqué, double de celle du miroir. Or, l'œil peut facilement estimer un arc d'un demi-degré; il vaut à peu près un pouce à la distance de dix pieds. En supposant que telle soit la limite de l'observation distincte (bien qu'on pût peut-être distinguer à l'œil nu un arc beaucoup plus petit), on peut espérer que lorsqu'une ligne de lumière électrique sera placée parallèlement à l'axe du miroir, il sera possible de déterminer : 1° la durée de la lumière en chaque point où elle parait; 2° le temps qui s'écoule entre l'apparition de la lumière dans deux points successifs de son parcours, pourvu que ce temps, dans chaque cas, ne soit pas moindre de $\frac{1}{72000}$ de seconde.

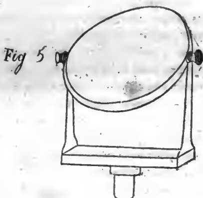
Le premier résultat sera indiqué par l'élongation horizontale de l'image réfléchie, et le second par la distance entre deux lignes menées, à partir des images, perpendiculairement au plan horizontal. Si la durée et la vitesse étaient l'une et l'autre rendues sensibles par le miroir, l'image réfléchie apparaitrait comme une bande courbe de lumière.

Je présentai successivement au miroir des étincelles de 4 pouces, tirées du conducteur principal d'une puissante machine électrique; les explosions d'une batterie chargée, un tube de verre de 4 pieds de long, présentant une spirale d'étincelles électriques passant par

des pointes de feuille d'étain ; un tube de verre vidé d'air, de 6 pieds de long, à travers lequel l'étincelle passait et produisait une ligne non interrompue de faible lumière électrique ; diverses figures, telles que des oiseaux, des étoiles, etc., formées d'étincelles électriques. Mais, dans tous les cas, lorsque les images réfléchies passaient dans le champ de vision, leurs formes étaient exactement les mêmes que si elles eussent été réfléchies par le miroir en repos.

Lorsque les étincelles se succédaient rapidement, diverses images réfléchies se voyaient simultanément dans différentes positions, parce que les images avaient été renouvelées avant que l'impression visuelle causée par les premières images eût disparu. En tenant le tube vide d'air près du conducteur principal et en le regardant directement, il semblait quelquefois briller d'une lumière continue ; mais lorsqu'on l'examinait dans le miroir, on voyait que cette apparente continuité n'était due qu'à une suite de rapides éclairs.

III. Il est quelques expériences pour lesquelles une autre position du miroir tournant est préférable.



La figure 5 représente la surface réfléchissante inclinée sur l'axe de rotation, et qui lui est presque perpendiculaire. Si un point lumineux est placé en un point quelconque du prolongement de l'axe, les images successivement réfléchies par différentes parties du miroir formeront ensemble un cercle dont on pourra voir simultanément toute la circonférence. L'expérience sous cette forme donne,

pour l'image, une vitesse angulaire égale à celle du miroir, et tous les deux se meuvent dans la même direction, tandis que, dans le premier cas, l'image se mouvait avec une vitesse double de celle du miroir et dans une direction opposée. La grandeur apparente du cercle décrit augmente avec la distance de l'objet et l'inclinaison du miroir. La flamme d'une chandelle s'y voit comme un large anneau lumineux, celle du soleil y est convertie en une magnifique ceinture de feu.

Lorsqu'on fait passer une série de petites étincelles entre deux pointes, ou entre une pointe et le conducteur principal, l'œil voit, à cause de la rapidité de leur succession, l'apparence d'un faisceau lumineux permanent.

Lorsque ce faisceau est placé sur le prolongement de l'axe du miroir tournant, les étincelles successives dont il est composé sont réfléchies à l'œil chacune par des parties différentes de la surface ; elles se présentent comme arrangées à des distances régulières dans un cercle. Lorsque les interruptions sont rapides, l'apparence est extrêmement belle.

Ce moyen fait voir aussi que le pinceau de lumière qu'on obtient en présentant une pointe à quelque distance du conducteur est une action intermittente, malgré son apparence permanente; les images réfléchies présentent cependant cette particularité remarquable, qu'elles sont allongées dans la direction du mouvement, ce qui prouve que le pinceau ne passe pas aussi vite que l'étincelle, et que les émissions qui la constituent subsistent pendant un intervalle de temps qu'on peut mesurer par le mouvement du miroir.

Mais cet instrument n'a pas une utilité bornée à la simple observation des intermittences de la lumière électrique : toutes les fois qu'une succession rapide d'altérations a lieu dans un objet qui ne change pas de place, on peut les examiner séparément par son moyen.

Des corps vibrants présentent différents sujets d'investigation ; l'un d'entre eux est peut-être digne d'être mentionné. Une flamme d'hydrogène brûlant en plein air présente un cercle continu dans le miroir; mais pendant qu'elle produit un son dans l'intérieur d'un tube de verre, on observe des variations régulières d'intensité présentant une apparence semblable à celle d'une chaîne, et qui indi-

quent des contractions et des dilatations alternatives de la flamme, correspondant aux vibrations sonores de la colonne d'air.

IV. On a souvent fait des expériences dans le but de déterminer la vitesse de transmission de l'électricité à travers les corps conducteurs. Dans toutes les recherches de ce genre qui ont été publiées, on essayait de mesurer l'intervalle de temps qu'on supposait devoir exister entre les deux décharges faites aux extrémités du fil, extré-

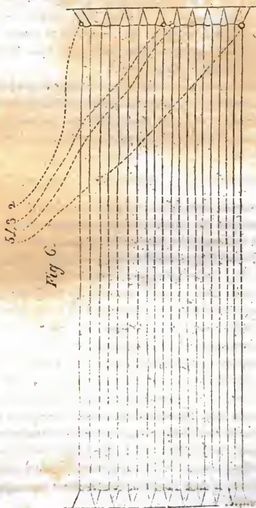


Fig 6.

mités qu'on rapprochait afin qu'elles fussent visibles en même temps. Dans une expérience faite à Shooter's-Hill, sous la surveillance du docteur Watson, le circuit avait quatre milles de long, deux milles à travers un fil, et deux autres à travers le sol : cependant les décharges, comme dans d'autres expériences, parurent semblables et parfaitement simultanées. Ce résultat ne doit pas surprendre ; car on sait que l'œil n'est pas aussi capable de distinguer de leur apparence simultanée la succession d'objets lumineux qui se suivent à un intervalle de un huitième à un dixième de seconde, et que, par conséquent, même avec un circuit de quatre milles de long, la vitesse de quelques milles par seconde serait tout ce qu'on pourrait observer par de tels moyens.

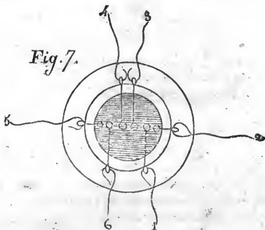
Je me déterminai, en conséquence, à refaire une semblable expérience en substituant au jugement imparfait de l'œil l'action d'un miroir tournant, mais plus rapide dans son mouvement et plus exact dans ses indications qu'aucun de ceux que j'avais employés précédemment.

L'instrument que je vais décrire permet de mesurer $\frac{1}{1000000}$ de seconde, et cette limite (dont je n'ai pas lieu de croire l'estimation erronée) pourrait être considérablement dépassée avec des instruments plus coûteux et des observations plus soignées. Mais comme ce n'est que dans l'hypothèse d'un transport réel du fluide d'une extrémité du fil à l'autre qu'on peut s'attendre à observer une différence de temps entre les deux étincelles de ses bouts, j'ai voulu rendre l'expérience proposée indépendante de cette vue théorique, et j'ai eu la précaution de déterminer une troisième étincelle près des deux extrêmes, et sur la même ligne qu'elles, en établissant une interruption au milieu du fil. Car, dans la supposition du transport de deux fluides dans des directions opposées, les étincelles extrêmes devaient être simultanées ; mais l'étincelle moyenne ne brille que plus tard. Les mêmes apparences s'accordaient aussi avec l'hypothèse d'un seul fluide, si on admet qu'un dérangement d'équilibre électrique se propage simultanément depuis chaque extrémité, provenant dans un cas d'additions successives à la quantité neutre du conducteur, et dans l'autre de soustractions successives à cette même quantité.

L'expérience fut faite dans la galerie de la rue d'Adélaïde. Le fil isolé, long d'un demi-mille, était disposé comme dans la figure 6. Les parties parallèles du fil avaient chacune 120 pieds de long; elles étaient à 6 pouces les unes des autres, et attachées à la balustrade avec des brides de soie de 6 pouces de long.

La courbure du fil était empêchée à l'aide de cordes de soie tendues à travers la galerie, et qui étaient unies au fil à des distances convenables pour maintenir les positions de celui-ci.

Les bouts du fil marqués 2, 3, 4, 5, étaient attachés aux fils de



même dénomination *de la planche à étincelle* (spark-board) (1), fig. 7, laquelle était fixée contre la muraille au-dessous de la galerie, de manière que les boules entre lesquelles les étincelles devaient passer fussent sur une même ligne horizontale. La distance de parcours entre chaque étincelle était de un dixième de pouce, et la planche à étincelles elle-même avait 3 pouces et demi de diamètre. Le fil conducteur était de cuivre, et épais de un quinzième de pouce.

La figure 8 représente l'instrument mesureur avec ses appendices, et la figure 10 montre d'une manière plus distincte quelques unes

(1) Le spark-board est une planche circulaire sur laquelle on a isolé, en les noyant dans de la cire, six fils métalliques parallèles. Leurs extrémités arrondies font seules saillie sur la matière résineuse qu'on a représentée en noir. (E. W.)

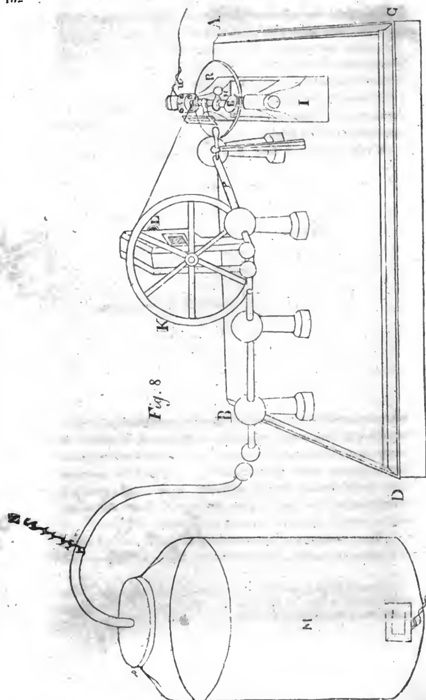
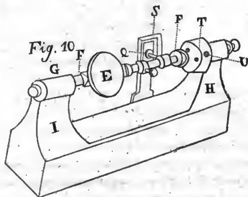


Fig. 8

de ses parties essentielles. ABCD est une forte planche d'acajou bien desséché, longue d'un pied, et large de 8 pouces. E est un mi-



roir circulaire d'acier poli d'un pouce de diamètre, fixé sur l'axe horizontal FG, de manière que l'axe de rotation soit dans le plan du miroir. Les pivots de l'axe travaillent sur les montants du support de laiton HI. Le mouvement se communique de la roue K à l'axe, à l'aide d'un fil qui passe dans les gorges creusées sur la circonférence des deux pièces. Une courroie qui est unie à la roue L, attachée au même axe que K, peut être liée à la roue d'une machine quelconque, capable de lui donner un mouvement rapide. Dans les expériences que j'ai faites avec cet instrument, le système des roues était tellement disposé que l'axe portant le miroir eût exécuté 1800 révolutions, tandis que la roue à laquelle le mouvement était d'abord communiqué n'en eût fait qu'une, s'il n'y avait eu aucun retard provenant du glissement des courroies. M est une petite bouteille de Leyde, dont l'armure intérieure doit constamment être électrisée positivement ou négativement à l'aide d'une machine et de la chaine N. La tige coudée partant de l'armure intérieure de la bouteille est en contact immédiat avec le *déchargeur* OP, et l'on règle la décharge spontanée de la bouteille en variant la distance des deux boules. Le fil 1 est fixé à l'armure extérieure de la bouteille, et le fil 6, qui est attaché à un renflement du support de laiton, se lie au fil de même numéro de la planche à étincelles. Lorsque la bouteille est complétement chargée, et que le bras Q, qui tourne avec l'axe,

est amené vis-à-vis du bouton de l'excitateur, la décharge électrique passe à travers le circuit entier, et l'œil voit trois étincelles exactement simultanées. Lorsque la face du miroir est sur le même niveau et tournée du côté de la planche à étincelle, et qu'elle est tellement ajustée qu'elle forme un angle de 45° avec l'horizon, l'œil qui regarde directement de haut en bas voit les images réfléchies des trois étincelles. Le verre plan ou la lentille R est destiné à empêcher l'œil de s'approcher trop du miroir, et à se prêter à la vision de myopes et de presbytes. Le bras Q est disposé de manière que le circuit puisse être fermé, lorsque le miroir est dans la position ci-dessus indiquée; l'autre bras ne sert que de contre-poids. Pour obvier à l'inexactitude qui résulterait de décharges partant lorsque le bras a des dispositions différentes par rapport au bouton de l'excitateur, on a interposé une plaque de mica S, percée d'une très petite ouverture horizontale opposée à l'axe de l'excitateur, ce qui fixe entre des limites très rapprochées la possibilité de la décharge. Aussi, quelle que soit la rapidité avec laquelle le miroir se meut, les étincelles sont généralement dans le champ de vue.

Il était extrêmement important de déterminer la vitesse angulaire de l'axe qui porte le miroir. On ne pouvait accorder aucune confiance au résultat obtenu en calculant le système de roues, parce que, dans un mouvement aussi rapide, l'évaluation est rendue incertaine par plusieurs causes retardatrices. Il était donc nécessaire de recourir à un moyen indépendant de ces sources d'erreurs, et qui indiquât immédiatement la vitesse (1). Celui qui parut atteindre le mieux ce but, ce fut de mettre le plateau mobile d'une petite syrène en rotation par l'axe du miroir. T représente une petite boîte creuse d'un pouce de diamètre, dans laquelle le courant d'air était amené par un tube placé en U. Sur le fond de cette boîte on avait pratiqué circulairement et à égale distance un certain nombre d'ouvertures; un disque perforé de la même manière, et qui se mouvait devant ce fond, interceptait d'une manière périodique

(1) Depuis la lecture de ce mémoire à la Société royale, l'instrument a été muni d'un appareil destiné à enregistrer le nombre des tours. Il est formé d'une aiguille liée à l'axe par un engrenage, et qui fait un tour pendant que le miroir en fait dix mille. L'augmentation de la résistance au mouvement qui en est résultée n'a pas permis de dépasser 600 révolutions par seconde.

le courant sortant, et produisait un son correspondant à la fréquence des occlusions. Il est évident qu'on obtient le nombre des révolutions en divisant par le nombre des ouvertures le nombre de vibrations dans une seconde, correspondant au son produit.

J'employai d'abord dix orifices : lorsque le mouvement était lent, on pouvait aisément déterminer le son, mais une augmentation de vitesse le rendait inappréciable. Je réduisis alors à 5 le nombre des ouvertures, mais sans mieux réussir ; et enfin à 2 : alors le son était si faible, comparé aux bruits concomitants, qu'on ne pouvait plus l'entendre d'une manière distincte.

L'usage du bras Q lui-même, pour produire le son, permit enfin de surmonter la difficulté. On y attacha une petite bande de papier qui, recevant un coup à chaque révolution, produisit par le prompt retour de ces chocs un son dont l'acuité variait avec la rapidité du mouvement. Lorsque la machine avait la vitesse maximum employée dans les expériences, on obtenait un *sol* dièze de la quatrième octave, ce qui correspond à 800 révolutions du miroir par seconde. A ma connaissance, rien n'a pu troubler l'exactitude du résultat ; on entendait le même son en se servant de différents morceaux de papier et de carte ; et si on modérait la vitesse, le son passait par tous les degrés de gravité, jusqu'à ce qu'enfin on entendit les battements distincts.

Considérons maintenant quelle est la plus courte durée de l'étincelle électrique, et la plus grande vitesse de transmission à travers le fil, qui puissent être découvertes à l'aide de l'instrument que j'ai décrit. Le miroir fait 800 tours par seconde, et pendant ce temps l'image d'un point fixe décrit 1,600 circonférences ; par conséquent l'élongation d'une étincelle égale à un demi-degré (quantité évidemment visible et égale à un pouce, vue à 10 pieds de distance) indiquera qu'elle existe $\frac{1}{1152000}$ de seconde. La déviation d'un demi-degré entre les deux étincelles extrêmes correspondait à une vitesse de 576,000 milles par seconde, le fil étant, comme nous l'avons dit, long d'un demi-mille. Cette estimation de la vitesse repose sur l'hypothèse que l'électricité passe d'une extrémité du fil à l'autre. Si les deux fluides dans l'une des théories, ou, dans l'autre, les dérangements d'équilibre partent simultanément des deux extrémités

du fil, les deux étincelles extérieures garderont leurs positions relatives; celle du milieu sera seule déviée, et la vitesse mesurée ne sera que la moitié de celle du cas précédent, soit 288,000 milles par seconde.

Des expériences réitérées ont donné les résultats suivants. Dans tous les cas où la vitesse du miroir dépasse une certaine limite, les trois étincelles s'allongent en trois lignes parallèles, et leurs longueurs augmentent avec la rapidité du mouvement. La plus grande élongation observée a été d'environ 24 degrés, ce qui indique une durée d'environ $\frac{1}{24000}$ de seconde. Les lignes ne commencent pas toujours à la même place : quelquefois elles paraissent immédiatement au-dessous de l'œil, d'autres fois à droite ou à gauche, et sont parfois entièrement invisibles. Ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, ces divergences proviennent de ce que le bras ne soutire pas toujours l'étincelle à la même distance de l'excitateur : quelques décharges sont donc nécessaires avant que l'œil puisse faire une observation distincte. Lorsque la vitesse est encore faible, les points extrêmes paraissent être exactement dans la même verticale; mais lorsque la vitesse est considérable, et que le miroir tourne à droite, les lignes prennent l'apparence ———; tandis que s'il tourne à gauche, elles paraissent ainsi ———. Dans aucun cas je ne les vis comme ceci ——— ou bien ———, ainsi qu'il le faudrait dans la supposition du transport d'un seul fluide. Il m'a paru convenable de placer sur le bord de la planche à étincelles et près d'elles la flamme d'une bougie pour guider l'œil; les lignes de la lumière électrique dans le miroir étaient immédiatement au-dessus de la ligne constante formée par la réflexion de cette flamme, et lui était parallèle, en sorte que l'œil pouvait être plus facilement dirigé sur elle, tout en servant à l'ajuster à une distance focale convenable. La table à étincelles était placée, dans toutes les expériences, à 10 pieds du miroir.

Après avoir obtenu un allongement considérable de ces étincelles, je pensais pouvoir aussi allonger les étincelles ou étendre les lignes de quelques uns des divers arrangements de lumière électrique décrits au § 2; mais, même avec la vitesse extraordinaire que j'avais atteinte, je ne pus y observer aucune altération quelconque.

Elles étaient encore réfléchies aussi distinctes et aussi peu changées que les objets eux-mêmes vus directement. L'allongement des étincelles, aux interruptions du fil ci-dessus mentionnées, était sans doute dû à ce que le diamètre du fil n'était pas assez grand pour permettre à la charge de la bouteille de le traverser autrement que d'une manière successive. La durée de la décharge, dans le cas de ces étincelles, paraissait être plus longue que le temps requis par l'électricité pour traverser plusieurs milles de fil.

Les étincelles tirées du grand aimant construit par M. Saxton, et qui se trouve dans la galerie d'Adelaïde Street, s'étaient considérablement allongées, même lorsque le miroir se mouvait avec une vitesse comparativement plus petite.

V. Dans le but d'accroître les chances d'observer les étincelles, etc., lorsque leur apparition ne peut pas être déterminée au moment où le miroir se trouve dans une position convenable pour les fléchir à l'œil, je propose d'employer un miroir à faces polygonales, symétriquement placé par rapport à l'axe de rotation. Tel serait un miroir hexagonal, par exemple, fig. 9, où *ab* est l'axe mobile, et *c*, *d*, *e*, trois des faces réfléchissantes. Si l'objet est lumineux sans intermittences, l'œil verra, pendant une révolution de l'axe, six arcs lumineux occupant tous la même position; et si la lumière est passagère, on aura six fois plus de chances d'observer son image réfléchie que dans le cas d'une seule surface miroitante.

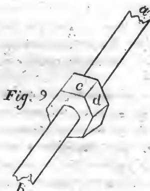


Fig. 9

Il est vrai que les arcs ne sont pas circulaires; mais la différence

est à peine sensible lorsque le rayon de la section polygonale est très petit, comparé à la distance de l'objet lumineux, ce qui serait le cas dans toutes nos expériences.

J'ai aussi proposé diverses modifications dans les parties de l'instrument § 4, pour des expériences particulières, et pour répéter avec plus d'exactitude celles qui ont été faites; mais il serait prématuré de les décrire, parce qu'elles n'ont point encore été mises à l'épreuve.

VI. L'instantanéité de la lumière de l'électricité à haute tension, rendue évidente par les recherches précédentes, donne le moyen d'observer, pendant un seul instant de leur durée, des phénomènes qui changent avec rapidité, et de faire un grand nombre d'expériences sur les mouvements des corps, lorsque leurs positions successives se suivent trop rapidement pour être vues dans des circonstances ordinaires.

Je me bornerai à en indiquer quelques exemples. Une roue tournant rapidement ou un disque en rotation, sur lequel on a peint un objet quelconque, semble parfaitement stationnaire lorsqu'on l'éclaire par l'explosion de la bouteille. Des insectes volants semblent fixés dans l'air. Des cordes en vibration sont vues en repos dans leurs positions déviées. Des gouttes d'eau qui, en se succédant rapidement, paraissent à l'œil un filet continu, se voient telles qu'elles existent réellement.

VII. Les expériences précédentes ayant eu plutôt pour but de découvrir des élongations et des déviations que de les mesurer, il ne m'est pas possible de donner les résultats avec une exactitude numérique. Je m'efforcerai de suppléer à cette lacune par de nouvelles recherches. Je me borne pour le moment à formuler les conclusions suivantes, déduites des apparences que j'ai observées, bien qu'on ne doive pas les considérer comme entièrement établies avant qu'on ait achevé des expériences plus soignées :

1° La vitesse de l'électricité dans un fil de cuivre est plus grande que celle de la lumière dans l'espace planétaire.

2° Dans un fil qui communique par ses extrémités avec les deux armures d'une bouteille chargée, le dérangement d'équilibre électrique se propage avec une égale vitesse, à partir des deux bouts du fil, et n'arrive que plus tard au milieu du circuit.

3° La lumière électrique, à l'état de haute tension, dure moins de $\frac{1}{1000000}$ de seconde.

4° L'œil est capable de voir distinctement les objets qui lui sont présentés pendant ce court intervalle de temps.

En continuant ces recherches avec des instruments plus puissants et plus exacts dans leurs indications, on pourra établir des lois numériques pour une classe nombreuse de phénomènes dont nous n'avons eu jusqu'ici aucun moyen d'observer les relations. Parmi ces sujets d'étude, nous citerons les vitesses relatives des électricités dans des fils métalliques différents; les modifications de la rapidité de l'électricité à divers états de tension, passant par le même conducteur, si tant est que l'on découvre là quelque différence; la durée de l'étincelle électrique dans différentes circonstances de tension et de quantité, etc.

Comme application de ces mêmes et féconds principes, j'ajouterai ici une note curieuse de M. Dove et la description du phénomène de M. Wheatstone.

Sur la discontinuité de la lumière des éclairs,
par M. le professeur Dove.

Les belles expériences de M. Wheatstone éveillèrent en moi le désir de savoir si les éclairs qui brillèrent, en nombre extraordinaire et presque sans interruption, pendant le second orage qui fondit sur Berlin, le 5 juillet 1835, à neuf heures trois quarts du soir, se composait d'une succession très rapide de décharges séparées. J'employai à cet effet la roue ou Farben-Kreisel de Busolt. Cet instrument consiste en un disque formé d'un alliage de zinc et de plomb. Il est solidement fixé sur un axe conique en bois très dur et bien sec, lequel est terminé inférieurement par une garniture d'acier non trempé, soigneusement arrondie. Le retrait rapide d'un cordon enroulé sur la partie supérieure de l'axe (qui est retenu dans une pièce particulière) met l'appareil en rotation; le mouvement, dans des circonstances favorables, se perpétue sans varier durant 45 minutes et plus; il est si rapide que l'axe paraît presque immobile. Il convient que l'instrument pèse environ 5 livres; il frotte sur

une assiette d'excellente porcelaine. Après avoir mis en rapide rotation cet appareil, et l'avoir couvert de deux bandes de carton colorées (Flingeln), dont les teintes se combinent agréablement à la lumière d'une bougie, on la plaça dans une chambre obscure, et on vit, sous l'illumination des éclairs, que la croix formée par les deux bandes avaient des limites bien définies, mais se balançait de çà et de là avec la plus grande vitesse sur le fond noir de la roue : la même chose avait lieu, que les bandes fussent perpendiculaires entre elles ou qu'elles formassent un angle aussi aigu que possible, d'où suit que même les éclairs les plus prolongés en apparence sont formés de la succession de décharges élémentaires, et que la durée d'une de ces décharges n'est aucune fraction appréciable du temps dans lequel le cercle accomplit une révolution, savoir une tierce, d'après Busolt, dans des circonstances favorables.

Je rappellerai enfin le système d'expériences à l'aide duquel M. Arago a promis de soumettre à des épreuves décisives les deux théories de l'émission et de l'ondulation. Félix Savart s'était servi d'un procédé tout différent, mais non moins ingénieux, pour découvrir la constitution de la molécule fluide ?

Il est donc démontré, par les expériences de MM. Ponillet et Wheatstone, que la vitesse de l'électricité est énorme, plus grande même que celle de la lumière ; qu'elle parcourt plus de 333 800 kilomètres par heure. Il y a d'ailleurs cette différence entre les recherches des deux physiciens que nous venons de nommer, que M. Wheatstone, pour déterminer la vitesse du fluide électrique, a employé l'électricité ordinaire ou de tension, tandis que M. Pouillet a employé l'électricité voltaïque ou dynamique ; l'ensemble de leurs travaux forme un tout complet. J'aurais voulu pouvoir en déduire la confirmation des quelques lois générales de la physique. Il est démontré que la vitesse du mouvement ondulatoire qui constitue le son est indépendante de l'intensité et du ton ; que les sons faibles ou forts, graves ou aigüs, se propagent avec la même rapidité ; tout ce que l'on sait de la lumière fait supposer qu'il en est de même du mouvement ondulatoire qui la constitue ; que les rayons lumineux, quelles que soient leur intensité et leur couleur, se propagent aussi avec la même vitesse. Il doit en être ainsi encore de l'électricité ; et l'on doit même admettre que les deux électricités statique et dynamique

se meuvent avec la même vitesse, car on ne peut douter que l'électricité ne résulte aussi d'ondulations, et il est prouvé que la vitesse de propagation d'un mouvement ondulatoire quelconque dépend uniquement de l'élasticité et de la densité du milieu dans lequel il se propage, et nullement de la cause excitante. Je suis forcé d'avouer que les recherches faites jusqu'ici ne sont pas assez complètes pour qu'on puisse y trouver la confirmation expérimentale de ces grandes conclusions théoriques.

Il est au moins prouvé que les signaux de la télégraphe électrique sont transmis avec une rapidité que la pensée ne peut pas atteindre, et qui est telle que dans l'espace d'une seconde ils feraient six ou sept fois le tour du monde. Sous ce rapport, la démonstration est entière. Toutes les fois que le courant se transmettra à travers un circuit, quelque immense qu'il soit, il le parcourra avec une vitesse incommensurable. Mais ici se présente une question plus grave que la première. Est-il prouvé, *à priori*, qu'on pourra faire parcourir au courant un circuit, quelque immense qu'il soit? Une résistance quelconque étant donnée, pourra t-on toujours la vaincre économiquement en disposant convenablement la source d'électricité? Admettons, par exemple, que l'électricité doive parcourir un fil de deux millimètres de diamètre, et de deux cents lieues de longueur; s'est-on assuré, *à priori*, qu'on pourra créer, sans des frais trop énormes, l'appareil producteur du courant direct ou d'induction par lequel cette résistance pourra être vaincue? Connaît-on d'avance les dispositions par lesquelles on sera assuré du succès, etc., etc.? Ces questions nouvelles et si importantes forment l'objet d'un second mémoire de M. Wheatstone, mémoire qui résume admirablement tout ce qui avait été fait précédemment, qui recule beaucoup les limites de la science, et qui, par cette double raison, a été reçu avec une sorte d'enthousiasme. Nous reproduisons intégralement la traduction, par M. Fayeux, qui en a été donnée dans les *Annales de physique et de chimie*; mais comme plusieurs physiciens, MM. Ohm, Fechner, Pouillet, etc., ont concouru chacun de leur côté à établir les lois remarquables qui, dans la propagation des courants électriques, lient la puissance à la résistance, et qu'il importe que leurs droits respectifs soient bien établis, nous ferons précéder le mémoire de M. Wheatstone par la note suivante lue par M. Pouillet au sein

de l'Académie des sciences, le 27 janvier 1845. Il me semble que ce précis historique ne laisse rien à désirer sous le rapport de la clarté et de l'impartialité; il n'a d'ailleurs été contesté par personne.

Histoire de la découverte des lois relatives à la propagation du fluide électrique.

« Depuis que nous nous sommes occupés de la théorie de la pile, MM. Ohm, Fechner et moi, dit M. Pouillet, la science a acquis deux idées fondamentales et distinctes qui sont devenues le principe d'une foule de déductions importantes.

» La première est celle-ci : une source électrique étant donnée, l'intensité du courant qu'elle produit, dans un circuit simple, peut se déduire des éléments constitutifs de la source et du circuit.

» La seconde peut être énoncée de la manière suivante : lorsqu'un conducteur simple est remplacé dans un circuit par des conducteurs multiples, l'intensité du courant dans chacun de ces conducteurs multiples peut se déduire de leurs éléments constitutifs et de leur intensité primitive.

» Qu'il me soit permis de le dire dès l'abord sans rien préjuger sur les découvertes de M. Ohm et de M. Fechner, et sans y mêler pour moi aucun sentiment d'amour-propre, mais seulement parce que cela est juste et vrai; qu'il me soit permis de le dire, ces deux idées je les ai eues et je les ai démontrées. Ce qui n'est ici de ma part qu'une simple affirmation se trouvera, je l'espère, justifié de la manière la plus complète par l'examen que je vais faire de la question de priorité, et de la question de savoir si mes recherches sur ce point sont venues en temps utile pour rendre quelque service à la science.

» Les deux idées dont il s'agit se trouvent, sous une certaine forme abstraite et hypothétique, dans l'ouvrage que M. Ohm a publié à Berlin, en 1827. Je ne sache pas que, dans ce temps là, cet ouvrage ait été connu en France autrement que par deux extraits fort courts donnés dans le *Bulletin de Férussac*, l'un vers le milieu de 1828 (t. IX, p. 260), l'autre vers la fin de 1829 (t. XII, p. 244). Avant la publication de ces extraits, au mois de mars 1828, paraissait le second volume de ma première édition, dans lequel

se trouve décrite la boussole des tangentes, dans lequel je cite les expériences que j'ai faites ; dans lequel enfin, contrairement à toutes les opinions déjà reçues à cette époque, j'exprime nettement l'idée que, pour comparer les intensités des courants, il faut tenir compte de la résistance de la pile ; je l'exprime comme un résultat direct de l'expérience et en indiquant comment cette résistance se détermine expérimentalement (tome I, 2ᵉ partie, p. 755, mars 1828) (1). Il est vrai que, dans ce passage, il est dit que cette résistance est en raison *inverse* de la section du fil, quand il devrait être dit qu'elle est en raison *directe*. S'il se trouve des physiciens qui, après avoir lu la description des expériences et les formules qui en résultent, s'imaginent qu'il y ait là autre chose qu'une faute d'impression, je n'ai qu'une prière à leur faire, c'est de vouloir bien relire sans prévention et avec le seul désir de chercher la vérité.

» Sur ce premier point, quelle est donc la situation de M. Ohm et quelle est la mienne ? M. Ohm, sous ce rapport, à la priorité : il a incontestablement publié en 1827 l'idée qu'il fallait tenir compte de la résistance de la pile comme des autres résistances du circuit ; mais, d'une part, il n'a fait aucune analyse de ces résistances, il n'a pas séparé celle qui appartient à la pile elle-même de celle qui appartient aux autres conducteurs, enfin il n'a pas donné le moyen d'en découvrir la valeur ; et, d'autre part, il n'a donné de la justesse de sa pensée qu'une démonstration mathématique, fondée sur des considérations d'électricité statique qui, aujourd'hui encore, auraient elles-mêmes besoin de démonstration. M. Ohm, en un mot, a donné cette loi, non pas comme conséquence de principes avoués et reconnus, mais comme conséquence d'une pure hypothèse ; il restait donc deux choses à faire : ou à prouver indirectement par l'expérience l'exactitude des résultats, ce que M. Ohm avait essayé de faire, mais ce qu'il n'avait pas fait, ou à prouver

(1) M. Poggendorff, qui suit d'une manière si vigilante les progrès de la science, avait saisi toute la portée de ce principe, et il avait bien voulu le reproduire textuellement dans ses *Annales* (t. XV, page 91, premier numéro de 1829). M. Fechner en fait lui-même usage, et cite mon nom à ce sujet dans son ouvrage de 1831. En réalité, c'est mon principe et ma méthode qui servent de base à M. Fechner, et non pas le principe et la méthode de M. Ohm.

directement la rigueur de l'hypothèse, et à justifier l'usage mathématique qui en était fait, soit dans l'établissement des équations différentielles, soit dans la détermination des constantes, ce qu'à ma connaissance aucun mathématicien n'a fait jusqu'à ce jour.

» Il est vrai que mon ouvrage vient huit ou dix mois après celui de M. Ohm; mais j'ai peut-être l'avantage sur lui d'avoir suivi une voie moins savante, d'avoir été guidé par l'expérience et d'avoir démontré le principe d'une manière directe et incontestable, en même temps que je le découvrais.

» Je prie cependant les physiciens de remarquer la réserve avec laquelle je m'exprimais en 1828; je dois ici leur en dire la raison : c'est que j'avais pendant près de cinq ans fait d'innombrables expériences sur ce sujet avec des piles de toute espèce, en variant les liquides excitateurs de toutes les façons, et il m'avait été impossible, absolument impossible de trouver une pile, grande ou petite, forte ou faible, dont la résistance fût tolérablement constante ; dans les cas les plus tolérables, elle l'était à peu près, mais non pas avec rigueur : c'est pourquoi j'avais renoncé à communiquer à l'Académie des résultats incertains ; mais, en imprimant mon ouvrage, j'avais voulu constater le principe. Je crois, à cet égard, que mes recherches ont ajouté quelque chose à celles de M. Ohm, et qu'elles sont venues en temps utile pour être accueillies avec quelque bienveillance, et pour contribuer d'une manière efficace aux progrès de la question, non seulement en France, mais aussi à l'étranger, et même en Allemagne.

» Examinons maintenant ce qui a rapport aux courants multiples ou courants dérivés. Ici, M. Ohm a encore le même genre de priorité, priorité d'initiative et non pas de solution définitive ; c'est lui qui a été le premier à poser la question, et, sans savoir qu'il l'eût posée, j'ai été le premier à la résoudre.

» Les luttes scientifiques ne sont jamais des luttes en champ clos, même quand elles semblent circonscrites à une seule et unique question. Deux émules, à l'insu l'un de l'autre, se proposent le même but, mais ils ne partent pas du même point et ils ne suivent pas la même route. Et ici, assurément, M. Ohm et moi, nous étions dans les voies les plus différentes, les plus opposées. Il avait montré le but d'une manière vague par le calcul ; je l'ai vu, de

mon côté, d'une manière nette, et je l'ai touché par l'expérience.

» Il est vrai que M. Ohm a publié un ouvrage en 1827, et que c'est seulement quatre ans après, c'est-à-dire le 30 octobre 1831, que j'ai présenté à l'Académie le mémoire dans lequel j'établis les formules des courants dérivés et leurs comparaisons avec des expériences très nombreuses et très précises; mais, grâce à Dieu, jusqu'à présent, après avoir fait le parallèle des deux méthodes, personne ne m'a accusé d'avoir puisé des idées ou même des inspirations dans l'ouvrage de M. Ohm.

» Toute la question se réduit donc à ceci: les physiciens pouvaient-ils, devaient-ils accepter les démonstrations mathématiques de M. Ohm comme étant la représentation fidèle et nécessaire des faits et des expériences?

» Je me dispense, quant à présent, de discuter au fond cette question; je me borne à dire que, pour ceux qui la résoudront affirmativement, mon travail était inutile; mais que pour ceux qui la résoudront négativement, mon travail faisait faire un pas important à la science.

» On me demandera peut-être pourquoi je ne l'ai pas publié *in extenso*, et pourquoi je me suis borné à en laisser mettre un extrait dans le *Lycée*, qui, à cette époque, rendait fidèlement compte des séances de l'Académie. Je répondrai franchement que toutes les fois que MM. les rédacteurs des *Annales de physique et de chimie* m'ont témoigné le moindre désir d'imprimer mes mémoires, je les ai donnés avec autant d'empressement que de reconnaissance, mais qu'il ne m'est pas venu à l'esprit de les offrir et de solliciter pour eux une place.

» D'ailleurs, je n'avais pas renoncé à l'espérance d'étendre mes expériences aux courants hydro-électriques, auxquels j'avais déjà consacré tant de temps et d'efforts. Enfin, j'ajouterai qu'après avoir lu mon mémoire, je l'avais, suivant ma coutume, un peu oublié entre les mains des commissaires de l'Académie.

» C'est ici le lieu de dire un mot du travail de M. Fechner, qui date aussi de 1831, et que je ne connais, je l'avouerai, que par l'extrait qu'en donne le *Bulletin de Férussac* (t. xv, p. 279, mai 1831). J'y trouve un passage ainsi conçu:

« 3° Confirmation de la loi trouvée par MM. Ohm et Pouillet,

que la force de la chaîne diminue avec la longueur du fil de jonction ; et preuve directe que le courant se partage entre les fils qui forment une chaîne en proportion de leur pouvoir conducteur. »

» La dernière partie de ce passage me fait supposer que M. Fechner s'est occupé des courants dérivés : cependant je suis porté à croire qu'après son travail, mon mémoire de 1831 conserve toute sa valeur ; car M. Poggendorff, qui n'avait pas eu connaissance de ce mémoire, dit, en 1841 (t. LIV, p. 173), en parlant de mon mémoire de 1837, qu'ici j'ai le premier donné les formules des courants dérivés, et que le premier je les ai comparées avec l'expérience.

» Enfin, j'arrive en 1837 et au mémoire que j'ai alors présenté à l'Académie sur les lois de l'identité des piles et des courants hydro-électriques. Tous les principes ayant été discutés dans ce qui précède, je n'ai plus à établir de comparaison qu'entre les travaux de M. Fechner et les miens.

» Je confesse tout d'abord mon embarras : comme je le disais tout-à-l'heure, je ne connais les recherches de M. Fechner que par un extrait qui me semble peu propre à en donner une idée complète. Voici, cependant, quelques principes qui me permettront de m'expliquer à ce sujet.

» En 1831, on ne connaissait pas les piles à courants constants ; M. Fechner était sans doute condamné à se servir de piles à forces variables, comme j'avais moi-même été condamné à le faire pendant tout le cours de deux premières recherches. Or, je n'hésite pas à dire qu'avant la découverte des piles à courants constants, il était impossible d'établir, je ne dirai pas d'une manière rigoureuse, mais seulement d'une manière satisfaisante, les lois de l'intensité des courants électriques. Je n'hésite pas à dire que, même aujourd'hui, lorsque ces lois sont établies et constatées, lorsqu'il ne peut plus rester aucun doute sur leur parfaite exactitude, lorsque les moyens d'observation sont devenus plus variés et plus parfaits, il serait impossible à un physicien de la reconnaître et de la vérifier sur des piles à force variable dont M. Fechner et moi avons pu faire usage jusqu'en 1831.

» Plusieurs causes concourent sans doute à produire les irrégularités considérables qui se manifestent dans ces appareils, surtout

lorsque la conductibilité des circuits éprouve de grandes variations; mais, parmi ces causes, l'une des plus puissantes est, je crois, celle-ci : quand l'action chimique s'exerce sans que les communications soient établies entre les pôles, l'électricité qui constitue le courant n'est qu'une portion de celle qui s'est développée, et si les communications deviennent plus ou moins conductrices, non seulement l'action chimique change d'intensité, mais la portion d'électricité produite qui constitue le courant change elle-même suivant des rapports complexes dont, jusqu'à présent, l'on n'a pas fait l'analyse. Je n'admets donc pas que la théorie que j'ai donnée pour les courants thermo-électriques et pour les courants hydro-électriques des piles à force constante s'applique sans modifications aux anciennes piles et à celles qui leur ressemblent.

» Est-ce à dire pour cela que l'ouvrage de M. Fechner doive être regardé comme sans valeur et sans mérite, comme non avenu pour la science? Dieu me garde de faire une telle critique et de porter un tel jugement sur un physicien qui a travaillé avec tant de zèle et qui a servi la science comme il était possible de la servir à cette époque. J'ai fait trop d'expériences de cette nature, je sais trop les soins et la persévérance qu'elles exigent pour ne pas rendre à M. Fechner tous les hommages qui lui sont dus. Je n'ai rien publié de mes travaux, je me suis obstiné à vouloir plus de rigueur ; mais M. Fechner a rendu un véritable service en publiant ce qu'il trouvait et comme il le trouvait. J'admets qu'il a fait tout ce qu'il était possible de faire avec les piles dont on pouvait alors disposer.

» Maintenant, voici la question qui s'élève entre M. Fechner et moi. Les physiciens qui estiment qu'après les recherches de M. Fechner il ne restait plus rien à faire sur les lois d'intensité des piles et des courants hydro-électriques jugeront que mon travail de 1837 était inutile; ceux qui, au contraire, estiment que son ouvrage, quelque recommandable qu'il fût, laissait beaucoup à faire, jugeront que mon mémoire de 1837 méritait d'être accueilli avec bienveillance. Mais les uns et les autres seront du moins d'accord sur ce point que, même en 1837, je n'ai rien pu emprunter, ni aux principes, ni aux méthodes, ni aux résultats de M. Fechner. »

MÉMOIRE DE M. WHEATSTONE.

Description de plusieurs instruments et procédés nouveaux pour déterminer les constantes d'un circuit voltaïque.

I. Exposition.

Je me propose dans ce mémoire de rendre compte de divers instruments et procédés que j'ai inventés et employés depuis plusieurs années dans le but de rechercher les lois des courants électriques. L'objet pratique vers lequel mon attention a été principalement dirigée, et pour lequel ces instruments ont été originairement construits, était de détermiuer les conditions les plus avantageuses à la production d'effets électriques à travers des circuits d'un grande étendue, afin de constater, au point de vue pratique, la possibilité de transmettre des signaux, au moyen de courants électriques, à des distances plus considérables qu'on ne l'avait tenté jusqu'alors.

Guidé par la théorie de Ohm, et à l'aide des courants que je vais décrire, j'ai complétement réussi dans cette entreprise. Mais l'usage des nouveaux instruments n'est pas limité à cet objet spécial; j'ai la confiance qu'on les trouvera d'un grand secours dans toutes les recherches ayant rapport aux lois des courants électriques, et aux diverses applications pratiques que l'on voit se multiplier chaque jour de cet agent étonnant. Source énergique de lumière, de chaleur, d'action chimique, de puissance mécanique, il nous suffira de connaître les conditions dans lesquelles ses divers effets peuvent se manifester le plus économiquement et le plus énergiquement possible pour être en état de juger si les hautes espérances conçues de plusieurs côtés, au sujet de quelques unes de ces applications, sont fondées sur des prévisions raisonnables ou sur de fausses conjectures. La théorie dont nous sommes actuellement en possession suffit amplement à nous diriger sûrement dans cette recherche; mais les expériences n'ont pas encore été assez multipliées pour nous mettre à même d'obtenir, sinon dans quelques cas peu nombreux, les valeurs numériques des constantes qui entrent dans divers circuits voltaïques; et, sans cette connaissance, il nous est impossible d'arriver à aucune conclusion exacte.

Lois de Ohm.

Les instruments et les procédés que je vais décrire étant tous fondés sur les principes établis par Ohm, dans sa théorie du circuit voltaïque, et cette belle et féconde théorie n'étant point encore généralement comprise et admise même de plusieurs personnes se livrant elles-mêmes à des recherches originales, j'oserais à peine espérer d'être compris dans les descriptions et explications que je vais donner, si je ne les faisais précéder d'un exposé succinct des principaux résultats qui en ont été déduits. On apercevra bien vite combien les idées claires de forces et de résistances électro-motrices, substituées aux notions vagues d'intensité et de quantité, qui ont si longtemps prévalu, nous mettent en état de donner des explications satisfaisantes de phénomènes très importants, dont les lois ont jusqu'à présent été enveloppées d'obscurité et de doute. A considérer les lois du circuit voltaïque du point de vue où nous ont placés les travaux de Ohm, il n'existe guère une seule branche des sciences expérimentales dans laquelle des phénomènes aussi nombreux et aussi variés soient exprimés par des formules d'une telle simplicité et d'une aussi grande généralité. Dans la plupart des sciences physiques, les faits d'observation et d'expérience ont marché d'un pas égal avec les principes généralisateurs de la théorie; seule, cette science les avait accumulés dans une prolifique abondance sans qu'aucune tentative heureuse eût été faite pour les exprimer mathématiquement. Mais ce progrès est maintenant heureusement effectué, et ce qui n'a été jusqu'à présent qu'une simple matière à des conjectures spéculatives se trouve transporté dans le domaine de la philosophie positive.

Par *force électro-motrice*, on entend la cause qui, dans un circuit, donne naissance, lorsqu'il est fermé, à un courant électrique, et, lorsqu'il ne l'est pas, à une tension *électroscopique*. Par *résistance*, on veut indiquer l'obstacle opposé au passage du courant électrique par les corps qu'il a à traverser; ce mot signifie l'inverse de ce qu'on appelle ordinairement leur pouvoir conducteur.

Lorsque la vitesse, dans une portion quelconque du circuit, est accrue ou diminuée, soit en faisant varier la force électro-motrice, soit par un changement dans la résistance de cette portion, la vi-

tesse, dans toutes les autres parties du circuit, augmente ou diminue dans un degré correspondant; de sorte que, dans le même temps donné, la même quantité d'électricité passe toujours par chaque section transversale du circuit.

La force du courant est directement proportionnelle à la somme des forces électro-motrices qui sont en activité dans le circuit, et inversement proportionnelle à la résistance totale de toutes ses parties; ou, en d'autres mots, la force du courant est égale à la somme des forces électro-motrices divisées par la somme des résistances.

Représentons par F la force du courant, par E les forces électromotrices, et par R les résistances : alors,

$$F = \frac{E}{R}.$$

La longueur d'un fil de cuivre d'une épaisseur donnée, dont la résistance égale la somme des résistances d'un circuit, est ce que Ohm appelle sa longueur réduite, expression que l'on trouvera souvent commode d'employer.

Si l'on augmente ou diminue proportionnellement les forces électro-motrices et la résistance d'un circuit, la force du courant demeure la même, ou :

$$\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR};$$

d'où il suit qu'un seul élément voltaïque ou une batterie composée d'un nombre quelconque d'éléments exactement semblables produit le même effet, pourvu que l'on n'interpose dans le circuit aucune résistance additionnelle. De même, un élément thermo-électrique et un élément voltaïque produiront le même effet si la grande infériorité de force électro-motrice du premier est compensée par une diminution correspondante dans sa résistance. Dans un appareil thermo-électrique, la résistance est en général faible, parce que le circuit est entièrement métallique, tandis que, dans un élément voltaïque, la résistance du liquide est toujours considérable.

Toute résistance interposée diminue la force du courant: mais les effets en sont d'autant moindres qu'elle est plus petite proportionnellement aux autres courants du circuit. D'où il résulte que

dans deux circuits produisant deux courants de force égale, si la même résistance est introduite, les forces des deux courants peuvent être affaiblies dans des proportions très différentes. Un seul élément voltaïque $\frac{E}{R}$, et une série composée d'un nombre quelconque de pareils éléments $\frac{nE}{nR}$, forment des circuits dans lesquels les courants ont la même force; mais les résultats obtenus seront très différents suivant que la résistance ajoutée est faible ou considérable, comparée aux résistances primitives des circuits. Si elle est faible, les effets des deux circuits resteront sensiblement les mêmes; mais si elle est considérable, la résistance qui affaiblit grandement le courant dans le circuit d'un seul élément ne produit qu'un affaiblissement insignifiant dans celui de la série. Ce fait explique la nécessité d'employer une série pour vaincre de grandes résistances. Les mêmes remarques s'appliquent à la comparaison d'un circuit thermo-électrique avec un circuit voltaïque.

La formule suivante est l'expression générale de la force du courant dans un circuit voltaïque complété par un fil conjonctif, les plaques métalliques des éléments voltaïques étant parallèles les unes aux autres et d'égale grandeur :

$$F = \frac{nE}{\frac{nRD}{S} + \frac{rl}{s}}$$

F est la force du courant; E la force électro-motrice d'un seul élément, n le nombre des éléments, R la résistance spécifique du liquide, D l'épaisseur de la couche liquide ou la distance des plaques, S la section des plaques en contact avec le liquide, r la résistance spécifique du fil métallique conjonctif, l sa longueur, s sa section.

Traduisant dans sa langue ordinaire, nous avons les lois suivantes : la force électro-motrice d'un circuit voltaïque varie avec le nombre des éléments et la nature des métaux et des liquides qui constituent chaque élément, mais ne dépend en aucune façon des dimensions d'aucune de leurs parties.

La résistance de chaque élément est directement proportionnelle

à la distance où se trouvent les plaques l'une de l'autre dans le liquide et à la distance spécifique de ce liquide, et inversement proportionnelle à la surface des plaques en contact avec lui.

La résistance du fil conjonctif du circuit est inversement proportionnelle à sa section.

Les limites de ce mémoire ne me permettent pas de m'arrêter plus longtemps aux conséquences de la théorie du circuit électrique de Ohm ; je suis obligé de renvoyer pour de plus amples développements à l'ouvrage de l'auteur : *Die galvanische kette mathematisch bearbeitet*, Berlin, 1827 ; à ses divers autres mémoires publiés dans le *Jahrbuch der Physik* de Schweigger, et aux applications plus récentes de la théorie faite par Fechner, Lenz, Jacobi, Poggendorff, Pouillet, etc.

Il est cependant une classe de considérations qu'il m'est indispensable d'exposer, parce que sur elles sont fondés plusieurs des instruments et des procédés que j'aurai occasion de mentionner dans la suite ; je fais allusion aux lois de distribution du courant électrique dans les diverses parties du circuit, lorsqu'on juxtapose un conducteur latéral pour dériver une portion du courant d'une étendue limitée de ce même circuit.

Représentons par λ la longueur réduite de la portion du circuit d'où le courant est partiellement dérivé, par λ' celle du fil de déviation, et par L celle de la partie non divisée du circuit. On peut démontrer que la force du courant, dans chacun des conducteurs adjacents λ et λ', est en raison inverse de leurs longueurs réduites, et que la longueur réduite d'un seul fil métallique qui, substitué aux deux, n'altérerait pas la force du courant, est :

$$\frac{\lambda\lambda'}{\lambda+\lambda'},$$

que nous représenterons par Δ.

La force du courant dans le circuit primitif, avant l'introduction du fil métallique qui le bifurque, se trouvera donc exprimée ainsi :

$$F=\frac{E}{L+\lambda},$$

et celle du courant dans les trois proportions différentes du circuit altéré, représentée par les expressions suivantes :

Dans la portion principale, ou non divisée L :

$$F = \frac{E}{L + \Lambda} = \frac{E\,(\lambda\lambda')}{L(\lambda=\lambda')+\lambda\lambda'}.$$

Dans la portion d'où le courant a été partiellement dérivé λ :

$$F = \frac{E}{L + \Lambda} \cdot \frac{\Lambda}{\lambda} = \frac{E\lambda'}{L(\lambda+\lambda')+\lambda\lambda'}.$$

Dans la portion qui détourne une partie du courant, ou λ' :

$$F = \frac{E}{L + \Lambda} \cdot \frac{\Lambda}{\lambda'} = \frac{E\lambda}{L\,(\lambda+\lambda')+\lambda\lambda'}.$$

III. Terminologie.

Rarement un progrès réel se trouve effectué dans une théorie scientifique sans exiger dans sa terminologie un changement correspondant. Maintenant qu'il est prouvé, au-delà de toute espèce de doute, que les diverses sources d'une action électrique continue ne diffèrent entre elles que par la somme de leurs forces électromotrices modifiées par la résistance du circuit dont elles font partie, il devient important, pour donner de la précision aux vérités que nous exposerons, et pour nous soustraire aux circonlocutions autrement inévitables, d'adopter, pour exprimer la source d'un courant, des termes généraux, sans aucun rapport au mode particulier de sa production ; j'emploierai donc le mot *rhéomoteur* pour désigner tout appareil qui donne naissance à un courant électrique, que ce soit un élément voltaïque ou une batterie voltaïque, un élément thermo-électrique ou une batterie thermo-électrique, ou enfin toute autre source quelconque d'un courant électrique. En parlant d'un seul élément, je l'appellerai un *élément rhéomoteur*, et je donnerai le nom de *série rhéomotrice* à ce que l'on nomme habituellement une pile ou une batterie voltaïque ou thermo-électrique. Je me servirai encore des expressions ordinaires lorsque j'aurai à parler des sources spéciales de production des courants électriques ; mais

lorsque je me sers des termes généraux, on doit les entendre comme s'appliquant indifféremment à toutes ces sources.

Le besoin d'un terme général pour désigner un instrument propre à mesurer la force d'un courant électrique indépendant de sa construction particulière a été longtemps senti. J'emploierai dans ce but le mot *rhéomètre*, tout en continuant à me servir parfois de ceux de galvanomètre, voltamètre, etc , pour distinguer les instruments particuliers auxquels ces noms ont été donnés, quoique peut-être les termes de *rhéomètre galvanique*, chimique, calorifique, etc., leur seraient mieux appropriés.

C'est peut-être ici le lieu d'expliquer un petit nombre de termes que j'ai souvent l'occasion d'employer, quoique ce ne soit pas dans le cours de ce mémoire. Par *rhéotome*, je désigne un instrument qui interrompt périodiquement un courant, et par *rhéotrope* un instrument qui le renverse alternativement. Un *rhéoscope* est un instrument pour constater simplement l'existence d'un courant électrique. Le mot *rhéostat* sera expliqué plus loin. Je n'ai point introduit ces termes, qui seront très commodes, et qui nous mettront en état d'exposer plus clairement des propositions générales, sans avoir pour moi de bonnes autorités. Le mot *rhéophore* était employé par Ampère pour désigner le fil conjonctif d'un appareil voltaïque, comme portant ou transmettant le courant; et le mot *rhéomètre*, proposé pour la première fois par M. Péclet comme synonyme de galvanomètre, a été généralement adopté par les auteurs français qui ont écrit sur la physique.

IV. Méthodes.

La méthode que je vais exposer pour déterminer les constantes dans un circuit rhéophorique est essentiellement celle adoptée par Fechner, Lenz, Pouillet, etc., dans leurs vérifications expérimentales de la théorie de Ohm.

On détermine la résistance d'un circuit en observant la force du courant, d'abord sans aucune résistance additionnelle interposée dans le circuit, puis après avoir ajouté une résistance connue. Alors :

$$F = \frac{E}{R}, \text{ et } F' = \frac{E}{R + r'},$$

d'où :

$$\frac{F}{F'} = \frac{R+r}{R},$$

équation d'où l'on déduit facilement la valeur de R, toutes les autres quantités qui y entrent étant connues :

$$R = \frac{F'}{F - F'}\, r.$$

La force électro-motrice d'un circuit s'obtient en multipliant la force du courant par la résistance totale ; car, puisque

$$E = \frac{E}{R'}, \text{ on a } E = FR.$$

Le principe de cette méthode est extrêmement simple ; mais la difficulté de déterminer immédiatement la force d'un courant au moyen d'un galvanomètre est un obstacle à son emploi général. Fechner (1) mesurait la force du courant par le nombre d'oscillations de l'aiguille placée à angle droit avec la direction des circonvolutions du fil, opération très fastidieuse ; d'autres ont employé les déviations de l'aiguille, les degrés correspondants de force ayant été préalablement déterminés par quelque procédé particulier, ou déduits de quelque règle dépendant de la construction particulière de l'instrument. Une autre objection contre l'emploi d'un galvanomètre pour mesurer la force d'un courant naît des changements qui ont souvent lieu dans l'intensité magnétique de l'aiguille, surtout lorsqu'elle a été soumise à l'action d'un courant trop fort.

Le principe de ma méthode consiste à employer, au lieu de résistances constantes, des résistances variables, ramenant par là à l'égalité les courants dans les circuits comparés, et concluant du total de la résistance introduite ou supprimée pour passer d'une déviation de l'aiguille à une autre les valeurs des forces électro-motrices et des résistances du circuit, selon les conditions particulières de l'expérience. Cette méthode n'exige aucune connaissance des forces correspondantes aux différentes déviations de l'aiguille.

(1) Massbestimmungen uber die galvanisch kette. Leipsick, 1831, p. 5.

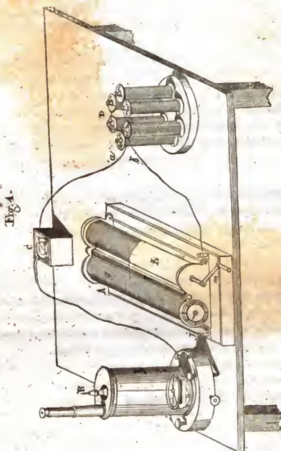
Pour appliquer ce principe, il est nécessaire d'avoir un moyen de varier la résistance interposée, de manière qu'elle change graduellement dans des limites voulues quelconques. Pour y parvenir, j'ai inventé deux instruments : l'un destiné aux circuits dont la résistance est considérable, l'autre pour ceux dans lesquels elle se trouve faible (1).

V. Rhéostat.

Le premier instrument est représenté fig. 1. *g* est un cylindre de bois, *h* un cylindre de laiton, tous deux du même diamètre, et ayant leurs axes parallèles. Sur le cylindre de bois est entaillée une rainure en hélice, et à l'une de ses extrémités est fixé un anneau de cuivre auquel est attaché l'un des bouts d'un long fil métallique d'un très petit diamètre. Ce fil, lorsqu'il est enroulé autour du cylindre de bois, remplit toute la rainure, et est fixé par son autre bout à l'extrémité opposée du cylindre de cuivre. Deux ressorts, *j* et *k*, pressant, l'un contre l'anneau de cuivre du cylindre de bois, l'autre contre l'extrémité du cylindre de cuivre *h*, au moyen de deux vis de jonction, peuvent être mis en communication avec les fils métalliques du circuit. La manivelle mobile *m* sert à faire tourner les cylindres sur leurs axes. Lorsqu'elle est placée sur le cylindre *h* et tournée de gauche à droite, le fil métallique se déroule de dessus le cylindre de bois, et s'enroule sur le cylindre de cuivre ; mais lorsqu'on l'adapte au cylindre *g*, et qu'on la tourne de droite à gauche, le contraire a lieu. Les circonvolutions sur le cylindre de bois étant isolées et tenues séparées l'une de l'autre par la rainure, le courant suit la longueur entière du fil enroulé sur ce cylindre ;

(1) Ici l'auteur a placé une note où il établit par ses explications et la déclaration de M. Jacobi, qu'il ne pouvait avoir, lorsqu'il créa ces deux instruments, aucune connaissance de celui du même genre inventé par ce dernier et fondé sur le même principe, quoique différent dans sa construction. Du reste, M. Jacobi n'en avait fait usage que pour régulariser la force des courants, et il n'employa la même méthode de détermination des constantes dans un circuit voltaïque qu'après qu'elle lui eut été communiquée par l'auteur dans un voyage qu'il fit en Angleterre. Les mémoires contenant les résultats de ses investigations furent réimprimés dans les *Annales de Poggendorff*, et la note répond aussi à une réclamation de priorité dans l'emploi de la méthode faite à cette occasion par le savant éditeur.

mais les circonvolutions sur le cylindre de cuivre n'étant pas isolées, le courant passe immédiatement du point du fil en contact avec



le cylindre au ressort *k*. La partie efficace de la longueur du fil métallique se réduit donc à la portion variable enroulée sur le cylindre de bois.

Dans l'instrument que j'emploie ordinairement, les cylindres ont 6 pouces anglais de longueur et un pouce et demi de diamètre; le filet de la vis est de 1/40 de pouce, et le fil, qui est de laiton, a 1/100 de pouce de diamètre. Je fais usage d'un fil très mince et

d'un métal mauvais conducteur, afin de pouvoir introduire une plus grande résistance dans le circuit.

Il y a une échelle placée pour mesurer le nombre de circonvolutions déroulées, et pour donner les fractions de circonvolution; un index, fixé à l'axe de l'un des cylindres, parcourt les divisions d'un cercle gradué.

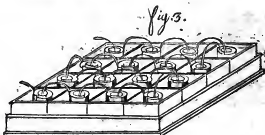
Comme le principal usage de cet instrument est d'ajuster ou régler le circuit de manière à obtenir un degré de force constant, je lui ai donné le nom de *rhéostat*.

La figure 1 montre la disposition du circuit lorsqu'il est préparé par une expérience. B est un galvanomètre très sensible à l'aiguille astatique, portant un microscope pour lire les divisions du cercle. Ce qui facilite grandement les opérations, c'est le rhéomoteur.

J'ai besoin de faire ici une digression d'un instant pour décrire l'élément voltaïque que j'ai employé dans la plupart de mes recherches rhéométriques, et que j'ai reconnu très constant dans son action et commode pour les manipulations. Il est complétement inutile de faire usage d'éléments de grande dimension dans de telles investigations; car lorsqu'on introduit des résistances considérables dans les circuits, ce qui arrive le plus fréquemment, ils ne produisent pas sensiblement des effets plus grands que des éléments plus petits, et dans tous les cas, les mesures peuvent se déterminer aussi exactement avec de petits éléments qu'avec des grands.

L'élément voltaïque C consiste en un petit vase carré de porcelaine vernie, dont les faces latérales ont 2 pouces anglais de long et un pouce et demi de hauteur, au centre duquel est placé un petit cylindre poreux, de terre cuite ou de bois, rempli d'un amalgame liquide de zinc, l'espace entre ces deux vases étant occupé par une solution de sulfate de cuivre. Dans cette solution se trouve placée une bande d'une feuille mince de cuivre, pliée en long sur elle-même, parallèlement au cylindre, et du bord de laquelle on a découpé une petite lisière qui y reste adhérente, et a été retournée pour qu'on pût y attacher le fil métallique du circuit, ou la plonger dans l'amalgame d'un autre élément semblable. La fig. 3 représente plusieurs éléments ainsi construits, combinés pour former une série. On doit voir qu'en principe ce n'est là

qu'une légère modification de la batterie constante du professeur Daniell, l'amalgame liquide de zinc étant employé comme dans la première expérience de M. Kemp, au lieu de barres ou de plaques

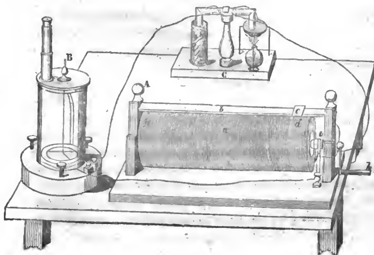


de zinc amalgamé, et la solution acide ayant été mise de côté. Cet arrangement, outre qu'il est très constant dans son action, est extrêmement économique et facile à manipuler. On peut substituer au cuivre un métal négatif quelconque, pourvu que le liquide interposé soit une solution d'un sel de ce métal.

VI. Emploi et modifications diverses du rhéostat.

Le rhéostat que j'emploie pour des circuits dans lesquels la résistance est comparativement faible est représentée par la fig. 2.

Fig. 2.



a est un cylindre de bois bien sec, sur la surface duquel une rainure est creusée en hélice ; un gros fil de cuivre est enroulé autour du cylindre, occupant la rainure et formant comme le filet d'une vis. Immédiatement au-dessus du cylindre, et parallèlement à son axe, est placée une barre triangulaire *b*, portant un curseur *c*; à ce curseur est adapté un ressort *d* qui presse constamment contre les spires du fil de cuivre, cédant à toutes les petites inégalités. L'un des bouts de l'hélice métallique est attaché à un anneau de laiton *e*, contre lequel presse un ressort *f* qui est en communication, au moyen d'une vis de jonction, avec l'une des extrémités du circuit ; l'autre extrémité du circuit est retenue par une vis semblable, se trouvant en connexion métallique avec la barre triangulaire de métal. En tournant la manivelle *h*, le cylindre se meut sur son axe dans l'une ou l'autre direction, et le curseur *c*, guidé par le fil de cuivre, glisse le long de la barre, avançant ou reculant suivant que le cylindre tourne à droite ou à gauche ; le curseur venant à se mettre en contact avec un point différent du fil de cuivre, une résistance différente est introduite dans le circuit, occasionnée par la seule portion du fil comprise entre le curseur et le bout qui est en communication avec le ressort *f*. Le cylindre de l'instrument que j'ai construit a 10 pouces et demi anglais de longueur, et 3 pouces un quart de diamètre, et fait 108 circonvolutions autour du cylindre. Les dimensions de l'instrument, la grosseur, la longueur et la matière du fil métallique peuvent être variées selon les limites de la résistance variable qu'on désire introduire dans le circuit, et le degré d'exactitude avec lequel il est nécessaire de mesurer ces variations.

La fig. 2 représente la disposition d'un circuit thermo-électrique dans lequel cet instrument a été interposé. C'est l'élément thermo-électrique ; B, le galvanomètre, qui, dans ce cas-ci, ne doit point porter de nombreuses circonvolutions d'un fil métallique mince, comme dans l'arrangement précédent, car on introduirait par là une trop grande résistance dans le circuit, mais doit consister en une seule plaque épaisse, ou un gros fil métallique faisant un seul tour. Je pense même qu'il serait préférable d'adopter la méthode qui sera décrite § XV, de détourner une portion du courant du fil d'un galvanomètre sensible. Tout rhéomoteur dans lequel la résis-

tance est faible peut être employé conjointement avec cette forme du rhéostat, au lieu de l'élément thermo-électrique décrit.

Le rhéostat particulièrement, sous la dernière forme que nous venons de décrire, peut être utilement employé comme régulateur d'un courant électrique pour maintenir exactement le même degré de force pendant un temps quelconque voulu, ou pour le changer dans toute proportion exigée. Interposé dans le circuit d'une machine thermo-électrique, quelques variations qu'éprouve le rhéomoteur dans son énergie, la même vitesse peut être constamment rendue au courant en tournant le cylindre du régulateur à gauche ou à droite, suivant qu'elle augmente ou diminue. De même, toute autre vitesse, dans des limites données, peut être obtenue en ajustant convenablement le rhéostat. Puisque la consommation des matières employées pour une batterie voltaïque dans laquelle il n'existe point d'action locale est inversement proportionnelle à la résistance du circuit, cette méthode d'altérer la vitesse a un avantage que ne possède aucune autre; la force affective est toujours strictement proportionnelle à la quantité de matières consumées à produire la puissance, point qui serait par la suite d'une très grande importance si de nouveaux perfectionnements parvenaient jamais à tirer d'une machine électro-magnétique une source avantageuse de puissance mécanique.

Dans les opérations de l'électrotypie, l'avantage de se servir du rhéostat est évident. En en variant la position de temps en temps, de manière à tenir l'aiguille d'un galvanomètre sur le même point, on peut maintenir un courant au degré quelconque d'énergie voulue, pendant un temps quelconque, sans aucun accroissement ou diminution notable; et, comme la nature du dépôt, lorsque la solution dont on l'obtient reste la même, ne varie qu'avec la force du courant et la grandeur de la surface sur laquelle le métal est réduit, lorsqu'on a une fois obtenu un bon effet, on peut, sans difficulté et avec certitude, reproduire les mêmes circonstances et éliminer complétement les chances du hasard.

Cet avantage est donc, je le répète, évident dans les opérations de l'électrotypie, de l'électrodorure, et dans la production des couleurs de Nobili. Mais ce n'est point ici le lieu de s'étendre sur ce sujet.

VII. Unité de mesure de la résistance.

Il est de la plus haute importance d'avoir, pour mesurer les résistances, un terme de comparaison exact et que l'on puisse aisément reproduire. On pourrait se servir, pour cet effet, d'un fil de cuivre d'une longueur et d'un diamètre donnés; mais, comme de très petites différences de diamètre sont accompagnées de différences considérables dans les résistances des fils métalliques, il convient mieux de prendre pour unité de résistance un fil métallique d'une longueur et d'un poids donnés, ce qui permet de déterminer très exactement de faibles différences. Je prendrai donc, dans toutes mes expériences, pour unité de résistance, un fil de cuivre de 1 pied anglais de long (1), et pesant 100 grains (*poids anglais*). Le diamètre de ce fil est les 0,071 d'un pouce anglais, et il est intermédiaire aux numéros désignés dans le commerce, à Londres, comme du quinze et du seize.

VIII. Bobines de résistance.

Il est souvent nécessaire de mesurer des résistances beaucoup trop grandes pour qu'on puisse y parvenir au moyen du rhéostat, quoique la longueur réduite de son fil métallique soit considérable. Je puis, par exemple, désirer connaître la résistance du fil des électro-aimants de mon appareil télégraphique, qui a souvent plusieurs centaines de mètres de longueur, ou celle que présente une très longue ligne télégraphique, ou la résistance d'une certaine étendue d'un liquide mauvais conducteur. Dans tous ces cas, et dans une foule d'autres, j'emploie un autre instrument qui me met en état d'interposer dans le circuit des résistances en quantités quelconques, et d'obtenir cependant, par l'adjonction qui lui sert comme d'un régulateur qui le complète et le perfectionne, un degré d'exactitude aussi complet qu'on le désire. Cet instrument est représenté fig. 1, D; il consiste en six bobines autour de chacune desquelles s'enroule un fil de cuivre très fin, recouvert de soie et d'un diamètre de 1/200 de pouce; deux de ces fils ont 50 pieds anglais de long, les autres ont respectivement 100, 200, 400, 800 pieds. Les deux bouts de chaque fil sont attachés à des fils métalliques courts,

(1) Le pied anglais vaut $0^{m},304$; 100 grains valent $6^{gr},9$.

et d'un fort diamètre, fixés aux faces supérieures des cylindres et servant à réunir tous les fils en une longueur continue. Les deux fils métalliques *a*, *b*, forment les extrémités de ces fusées, qui les réunissent en circuit. Sur la face supérieure de chaque cylindre est un ressort double de laiton mobile autour d'un centre, de sorte que ses extrémités puissent poser à volonté, ou sur les bouts des gros fils qui servent à réunir toutes les bobines, ou en être écartées et ne poser que sur le bois. Dans la dernière position, le courant du circuit est obligé de suivre les circonvolutions de la bobine; mais dans la première position, le courant suit le ressort et soustrait du circuit la résistance entière de la bobine. Quand tous les ressorts posent sur les gros fils métalliques, la résistance de toute la série des cylindres est supprimée; mais, en tournant les ressorts de manière à introduire différentes bobines dans le circuit, on peut y faire entrer tout multiple de 50 pieds jusqu'à 1600.

Comme on ne peut pas rigoureusement compter sur la mesure exacte de ces grandes longueurs de fil métallique, il est bon de constater le nombre d'unités de résistance de chaque fil enroulé, ce qui, à l'aide du rhéostat, peut aisément s'effectuer. J'ai trouvé que la résistance entière de 1600 pieds était équivalente à 218880 unités de résistance, ou pieds du fil métallique pris pour terme de comparaison. J'emploie, toutefois, une série auxiliaire de fils enroulés, combinés de la même manière que les précédents, consistant en six bobines du même fil métallique, chacune de 500 verges de long. La longueur réduite de cette série a plus de 233 milles du fil pris pour terme de comparaison. En la combinant avec la précédente, je puis mesurer des distances égales à 274 milles et demi (1).

IX. Évaluation de la résistance.

Lorsqu'un élément parfaitement constant, un galvanomètre et un rhéostat, sont placés dans un circuit, comme on le voit fig. 1, on peut constater la résistance de tout corps interposé de la manière suivante : observez le point sur lequel se tient l'aiguille; retirez alors du circuit le corps dont la résistance doit être mesurée, et,

(1) La verge anglaise vaut environ 1 mètre français; le mille vaut environ 8/5 de kilomètre.

au moyen du rhéostat, ajoutez une longueur de fil suffisante pour ramener l'aiguille au même point. Le nombre d'unités de comparaison correspondant à cette longueur ajoutée sera la mesure cherchée.

Il est important de déterminer la résistance du fil métallique du galvanomètre employé dans les expériences; pour effectuer cette détermination par la méthode ci-dessus, il serait nécessaire d'avoir un galvanomètre auxiliaire; mais lorsqu'on n'a pas sous la main un second galvanomètre, on peut avoir recours au procédé suivant : prenez deux éléments rhéomoteurs exactement égaux, et pour la force électro-motrice et pour la résistance; placez-en un dans le circuit, fig. 1; observez soigneusement la déviation de l'aiguille; interposez ensuite l'autre élément, et ramenez l'aiguille au même point par le moyen du rhéostat. La longueur réduite du fil déroulé λ sera la mesure de la résistance du fil du galvanomètre g, plus celle des fils qui établissent la communication r; retranchez r de λ, la résistance de g sera déterminée :

$$\frac{E}{R+r+g}=\frac{2E}{2R+r+g+\lambda'}$$

d'où :

$$g=\lambda-r.$$

La résistance du fil métallique d'un galvanomètre, ou toute autre résistance interposée, peut se constater encore plus exactement au moyen des instruments qui seront décrits § XVI.

X. Procédé pour déterminer la somme des forces électro-motrices d'un circuit voltaïque.

Le rhéostat fournit un moyen commode de constater la somme des forces électro-motrices en activité dans un circuit voltaïque, sans avoir besoin pour cela de l'aide d'un rhéomètre gradué pour indiquer des forces proportionnelles, ou d'avoir recours au procédé fastidieux de compter les oscillations d'une aiguille, employé par Fechner dans ses investigations. Il sera d'une grande importance pour les progrès futurs de l'électro-chimie d'épargner le temps et la peine dans cette opération; car il reste un très grand nombre d'expériences de ce genre à faire, et, de plus, les fluctuations dans les

forces électro-motrices de plusieurs circuits, dues à des actions chimiques ou autres, enlèvent toute espèce de valeur à des observations résultant d'expériences qui exigent un temps considérable.

Le principe sur lequel s'appuie mon procédé est celui-ci : dans deux circuits produisant des effets rhéométriques égaux, la somme des forces électro-motrices divisée par la somme des résistances est une quantité constante, c'est-à-dire :

$$\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}.$$

Si E et R croissent ou décroissent proportionnellement, F restera évidemment invariable. Connaissant donc le rapport des résistances dans deux circuits produisant le même effet, nous sommes en état d'en conclure immédiatement celui des forces électro-motrices. Cependant, comme il est difficile dans plusieurs cas de déterminer la résistance totale, se composant des résistances partielles du rhéomoteur même, du galvanomètre, du rhéostat, etc., j'ai recours au procédé suivant, qui est très simple. Augmentant la résistance du premier circuit d'une quantité connue r, l'expression devient

$$\frac{E}{R + r}.$$

Afin de rendre l'effet dans le second circuit égal à celui-ci, il est évident que la résistance ajoutée doit être multipliée par le même facteur que celui qui multiplie les forces électro-motrices et les anciennes résistances, car :

$$\frac{E}{R + r} = \frac{nE}{nR + nr}.$$

Le rapport des longueurs des résistances ajoutées r et nr, qui est connu immédiatement, donne donc celui des forces électro-motrices.

Dans l'expérience, je procède ainsi : j'interpose le rhéostat et le galvanomètre dans le circuit, et ensuite, au moyen du premier de ces instruments, assisté s'il est nécessaire des cylindres de résistance, j'ajoute une résistance suffisante pour amener l'aiguille exactement à 45° ; je constate ensuite la longueur de fil qu'il faut dérouler de dessus le cylindre de laiton du régulateur pour réduire la

déviation de l'aiguille à 40°. Le nombre des tours donne la mesure de la force électro-motrice, le nombre correspondant, lorsque le rhéomoteur est l'élément pris pour terme de comparaison, ayant été préalablement déterminé.

XI. Mesure de diverses forces électro-motrices.

Je joins ici quelques mesures de forces électro-motrices obtenues par le procédé que je viens de décrire.

1. Trois éléments de différentes grandeurs, composés de cuivre, d'une solution de sulfate de cuivre et d'un amalgame liquide de zinc, furent successivement placés dans le circuit. Le nombre de tours exigé pour ramener l'aiguille de 45 à 40° fut :

Le petit élément décrit § V,	30 tours.
Cylindre de cuivre de 3 1/2 pouces anglais de haut et de 2 1/2 de diamètre,	30
Cylindre de cuivre de 6 pouces de haut et de 3 1/2 de diamètre,	30

D'où il suit que, conformément à la théorie, la grandeur d'un élément n'apporte aucune différence dans sa force électro-motrice.

2. Cinq petits éléments de cuivre et d'amalgame de zinc furent chargés respectivement avec les cinq solutions suivantes de cuivre : le sulfate, le sulfate ammoniacal, l'acétate, le perchlorure et le nitrate. Quoique la force du courant produite par chaque élément séparément différât beaucoup de l'un à l'autre, en raison de la conductibilité différente des solutions, cependant, à l'exception du nitrate, toutes exigèrent le même nombre de tours indiquant des forces électro-motrices égales ; le nitrate présenta des fluctuations entre 23 et 29°, occasionnées probablement par quelque action perturbatrice de l'acide nitrique sur le mercure de l'amalgame.

3. On mesura les forces électro-motrices d'un circuit dans lequel 1, 2, 3, 4, 5 éléments semblables furent successivement placés :

1	élément exige	30 tours.
2	—	61
3	—	91
4	—	120
5	—	150

La force électro-motrice d'un circuit est donc, comme la théorie l'indique, proportionnelle au nombre d'éléments semblables arrangés en série dont se compose son rhéomoteur.

4. Les expériences suivantes furent faites dans le but de déterminer la mesure de la force électro-motrice contraire qui s'établit dans un circuit lorsqu'on y interpose un voltamètre ou appareil de décomposition. Le liquide en contact avec les électrodes de platine était de l'acide sulfurique étendu. La mesure cherchée s'obtient en retranchant le nombre actuel de tours de celui qui correspondait à la force électro-motrice du circuit avant qu'on y eût interposé l'appareil de décomposition.

		Force élect.-motrice contraire.
3 éléments avec l'appar. de décomp.,	21 tours.	90— 21=69
4 — —	50	120— 50=70
5 — —	79	150— 79=71
6 — —	109	180—109=71
	Moyenne	70

La force électro-motrice contraire peut dans certains cas être regardée comme constante et comme étant à celle d'un seul des éléments pris pour terme de comparaison comme 7 : 3. On voit aisément par là comment il se fait qu'il soit nécessaire d'employer trois de ces éléments pour décomposer l'eau dans un appareil portant des électrodes de platine d'une certaine dimension et chargée d'acide sulfurique étendu. La grandeur de cette force contraire varie avec les différents liquides et suivant la nature des électrodes employés. Comme mon objet actuel n'est point d'approfondir ce sujet, mais simplement de donner quelques exemples des mesures qui peuvent être obtenues par la méthode décrite plus haut, je n'entrerai point dans l'examen de ces modifications intéressantes, mais compliquées.

5. La plus grande force électro-motrice qu'un élément voltaïque, consistant en deux métaux et un liquide interposé, puisse manifester, a lieu lorsque le liquide est une solution d'un sel du métal négatif ; de sorte que, par le dépôt continuel de ce métal, la surface négative est à l'abri du contact de substances hétérogènes qui ten-

draient à donner naissance à un courant inverse. Lorsque, par suite d'une action chimique, une matière hétérogène solide quelconque est déposée sur la surface négative, ou qu'un gaz dégagé se trouve adhérent, la force électro-motrice de l'élément est réduite. Les mesures que je vais donner montreront la réduction qui a lieu dans la force électro-motrice d'un élément zinc et cuivre, et dans celle d'un élément zinc et platine, en substituant au sel métallique de l'acide sulfurique étendu; l'altération dans ce cas est due à l'adhésion de l'hydrogène à la surface du métal négatif.

Amalgame de zinc, sulfate de cuivre, cuivre,	30 tours.
Amalgame de zinc, acide sulfur. étendu, cuivre,	20
Amalgame de zinc, chlorure de platine, platine,	40
Amalgame de zinc, acide sulfur. étendu, platine,	27

6. La proportion de zinc dans l'amalgame liquide ne paraît point affecter la force électro-motrice de l'élément voltaïque dont il fait partie; le nombre des tours du rhéostat reste le même quoiqu'on fasse varier considérablement la quantité de zinc. Je fus donc conduit à penser que l'on pourrait obtenir des mesures assez exactes des forces électro-motrices comparatives des métaux, des alcalis et des terres. Un élément fut formé d'un amalgame liquide de potassium, de sulfate de zinc et de zinc; la proportion du potassium au mercure était de moins de 2 p. c.; il n'y eut point d'action locale apparente, et le courant fut remarquablement constant et continu.

Les forces électro-motrices de différents éléments dans lesquels le métal positif était un amalgame de potassium, et les métaux positifs, respectivement le zinc, le cuivre et le platine, furent constatés ainsi qu'il suit:

Amalgame de potassium, sulfate de zinc, zinc,	29 tours.
Amalgame de potassium, sulfate de cuivre, cuivre,	59
Amalgame de potassium, chlorure de platine, platine,	89

La force électro-motrice de la première combinaison se rapproche beaucoup de celle de la combinaison zinc et cuivre, et, lorsque la résistance du circuit est équivalente, produit un courant qui a presque le même degré de force.

La troisième combinaison possède une grande énergie électro-

motrice, et lorsqu'on interpose dans le circuit un voltamètre muni d'électrodes minces, décompose l'eau fort abondamment.

Il ne serait pas difficile de soumettre à des expériences de ce genre tous les métaux des alcalis et des terres ; les proportions de l'amalgame ne paraissant pas être d'une grande importance, on pourrait la préparer aisément au moyen d'une batterie voltaïque. Il serait intéressant de savoir quel rang le radical hypothétique de l'ammoniaque tiendrait dans cette échelle de forces électro-motrices.

7. On peut obtenir une force électro-motrice plus grande en employant, conjointement avec l'amalgame de potassium, une plaque de platine couverte d'une couche excessivement mince de peroxide de plomb (1). On prépare aisément une plaque de ce genre en en faisant l'électrode positif dans un appareil de décomposition chargé d'une solution d'acétate de plomb. La couche ainsi formée offre, comme Nobili l'a montré, suivant la variation de son épaisseur, les couleurs des anneaux de Newton.

Amalgame de zinc, acide sulfurique étendu, peroxide de plomb,	68 tours.
Amalgame de potassium, acide sulfurique étendu, peroxide de plomb,	98

On obtient les mesures suivantes en substituant le peroxide de manganèse au peroxide de plomb. Le peroxide de manganèse avait été déposé sur une plaque de platine qui formait l'électrode positif d'un appareil de décomposition contenant une solution de chloride de manganèse.

Amalgame de zinc, acide sulfurique étendu, peroxide de manganèse,	54 tours.
Amalgame de potassium, acide sulfurique étendu, peroxide de manganèse,	84

On obtient un faible courant en employant une plaque de platine

(1) Une série rhéomotrice de 10 de ces éléments aura une force électromotrice égale à celle de 33 éléments de la batterie de Daniell, ou de 50 d'une pile de Wollaston fonctionnant parfaitement. Des expériences sur les combinaisons voltaïques dans lesquelles le peroxide de plomb est substitué au métal négatif, ont été faites par les professeurs Sconbein (*Phil. mag.*, 3e sér., vol. XII, p. 225, mars 1838), et De la Rive (*Archives de l'électricité*, n° VII, avril 1843).

décapée conjointement avec une autre couverte du peroxide ; combinaison dans laquelle la première joue le rôle du zinc. Dans ce cas, le métal positif n'éprouve aucune action chimique ; mais du côté négatif le peroxide est réduit par l'hydrogène dégagé.

8. Les mesures suivantes prouvent d'une manière concluante que si l'on prend trois métaux dans leur ordre électro-moteur, la force électro-motrice d'un élément voltaïque formé des deux extrêmes est équivalente à la somme des forces électro-motrices des deux éléments formés des métaux consécutifs.

Amalgame de potassium, sulfate de zinc, amalgame de zinc,	29 tours.
Amalgame de zinc, sulfate de cuivre, cuivre,	30
Amalgame de potassium, sulfate de cuivre, cuivre,	59
Amalgame de potassium, sulfate de zinc, amalgame de zinc,	29 tours.
Amalgame de zinc, chlorure de platine, platine,	40
Amalgame de potassium, chlorure de platine, platine,	69

9. Je désirai comparer la force électro-motrice d'un élément thermo-électrique dont les deux métaux étaient le bismuth et le cuivre, et dont les soudures opposées étaient exposées aux températures fixes de la glace fondante et de l'eau bouillante, à celle de l'élément voltaïque pris pour unité. Comme l'interposition du galvanomètre diminuait considérablement la force du courant dans le circuit thermo-électrique, de telle sorte que je ne pouvais pas faire avancer l'aiguille à 45°, j'eus recours, dans ce cas particulier, à la déviation de l'aiguille de 10 à 5°. Les rapports des mesures des forces électro-motrices restent les mêmes, quels que soient les deux points entre lesquels on fait varier l'aiguille, pourvu qu'elles ne changent pas durant la même série d'expériences.

Élément thermo-électrique de bismuth et cuivre, la température des soudures étant 0 et 100 degrés,	8
Élément voltaïque unité, d'amalgame de zinc, sulfate cuivre et cuivre,	757

Les forces électro-motrices relatives sont donc comme 1 : 94,6 (1).

(1) M. Pouillet, par un procédé bien différent, a constaté que ce rapport

XII. Divers procédés pour la détermination de la résistance.

La résistance ou longueur réduite d'un rhéomoteur peut être déterminée par l'un ou l'autre des procédés suivants :

Première méthode. — Placez le galvanomètre et le rhéostat dans le circuit, et réglez le dernier de façon que l'aiguille du galvanomètre s'arrête à un point déterminé. Divisez alors le courant qui traverse le fil métallique du galvanomètre ; en plaçant à son côté une résistance égale, l'aiguille reculera. La longueur réduite, mesurée par le nombre de tours du rhéostat qu'il faudra retrancher du circuit pour ramener l'aiguille à son premier point, sera égale à la moitié de la résistance totale de la portion non divisée du premier circuit. La résistance du galvanomètre, des rhéophores et de la portion de fil enroulé du rhéostat qui se trouvait dans le circuit avant l'expérience ayant été préalablement déterminée, on obtient aisément celle du rhéomoteur, en retranchant la première de la résistance totale ainsi mesurée.

Soit E la force électro-motrice, g la résistance du fil du galvanomètre, et R toutes les autres résistances du circuit. La force du courant agissant sur l'aiguille sera :

$$F = \frac{E}{R + g};$$

ajoutez à côté du fil du galvanomètre un autre fil ayant la même résistance ; c'est comme si on lui substituait un autre fil métallique d'une section double, et l'expression de la résistance du circuit devient :

$$R + \frac{g}{2}.$$

Mais, puisque, par suite de la division du courant, il n'y a plus que la moitié de sa force qui agit sur l'aiguille, cette action peut être représentée par :

$$\frac{\frac{1}{2} E}{R + \frac{1}{2} g}.$$

était comme 1 : 95 (voyez *Éléments de physique expérimentale*, 3ᵉ édition, t. I, p. 631).

Pour rendre cette expression équivalente à la première, il faut réduire de moitié la résistance R, car :

$$\frac{E}{R+g}=\frac{\frac{1}{2}E}{\frac{1}{2}R+\frac{1}{2}g}.$$

La résistance enlevée du circuit pour effectuer cette réduction est évidemment égale à la moitié de la résistance de la portion non divisée du circuit primitif, ou :

$$\frac{E}{R+g}=\frac{\frac{1}{2}E}{R+\frac{1}{2}g-\lambda},$$

d'où :

$$\lambda=\frac{R}{2}.$$

Deuxième méthode. — Amenez, au moyen du rhéostat, l'aiguille du galvanomètre a un point déterminé que nous appellerons *b;* constatez la résistance *r* nécessaire pour amener l'aiguille à un point an térieur *a*, ramenez-là en *b:* alors placez un fil métallique qui se partage le courant avec le galvanomètre, et faites varier ce fil jusqu'à ce que l'aiguille arrive de nouveau en *a.* Lorsque l'aiguille est en *b :*

$$F=\frac{E}{R+g},$$

lorsqu'elle est fixée sur *a*, dans le premier cas,

$$F'=\frac{E}{R+g+r};$$

dans le second cas,

$$F'=\frac{Er'}{R(g+r')+gr'},$$

égalant ces deux expressions,

$$\frac{E}{R+g+r}=\frac{Er'}{R(g+r')+gr'},$$

d'où :

$$R=\frac{rr'}{g},$$

et comme rr' et g sont connus, R s'obtient tout de suite, et on en déduit ensuite, comme tout-à-l'heure, la résistance du rhéomoteur.

Si $r' = g$, c'est-à-dire si la résistance du fil du galvanomètre est égale à celle du fil qui en détourne une portion du courant, alors $R = r$.

Troisième méthode. — Amenez l'aiguille à un point quelconque déterminé, et constatez, au moyen de l'instrument qui sera décrit § XVIII, quel degré correspond à la moitié de l'intensité ainsi indiquée. Puisque, lorsque la force électro-motrice reste la même, la force du courant est inversement proportionnelle à la résistance totale pour ramener l'aiguille de a à $\frac{a}{2}$, il faut ajouter une résistance exactement égale à celle qui existait auparavant dans le circuit: ainsi donc le nombre de tours du rhéostat nécessaire pour produire cet effet sera la mesure de la résistance totale du circuit, lorsque l'aiguille se tenait en a. La résistance totale ayant été ainsi mesurée, on obtient celle du rhéomoteur en en retranchant les autres résistances connues, y compris celle du galvanomètre.

Plus généralement, si les forces a et b de deux courants correspondants à deux positions stationnaires de l'aiguille sont connues, § XIX, la résistance totale du circuit sera :

$$R = \frac{br}{a - b},$$

r étant la résistance ajoutée pour réduire le courant de a à b; si $a = 2b$, alors $R = r$ comme auparavant.

Quatrième méthode. — Dans le procédé que nous allons décrire et le suivant, on doit employer deux rhéomoteurs exactement égaux; on peut s'assurer de leur égalité de force en les interposant successivement dans le circuit, où l'un et l'autre devront dévier l'aiguille précisément au même degré.

Placez un des rhéomoteurs dans le circuit et réglez le rhéostat de manière que l'aiguille indique un degré quelconque choisi arbitrairement, ajoutez alors le second élément à côté du premier, et augmentez la longueur réduite du circuit, en tournant le rhéostat, jusqu'à ce que l'aiguille soit ramenée sur la même division. La quantité connue, mesurée par le nombre des tours du rhéostat dont la lon-

gueur réduite du circuit a été augmentée, est égale à la moitié de la résistance d'un seul rhéomoteur. En effet, en plaçant le second rhéomoteur à côté du premier, la résistance de cette portion du circuit est réduite de moitié; donc, pour rétablir la condition première du circuit, on doit ajouter une résistance égale à la moitié de celle du rhéomoteur. Autrement,

$$\frac{E}{R+r}=\frac{E}{\frac{R}{2}+r+\lambda},$$

d'où :

$$\lambda=\frac{R}{2},$$

R étant la résistance du rhéomoteur, et r représentant les autres résistances du premier circuit.

Cinquième méthode. — Placez les deux rhéomoteurs et faites varier la résistance jusqu'à ce que l'aiguille s'arrête sur une division choisie à volonté; placez-les alors à côté l'un de l'autre, et augmentez la résistance en tournant le rhéostat jusqu'à ce que l'aiguille soit ramenée à son premier point. La résistance d'un seul rhéomoteur égale deux fois la résistance qu'il a fallu ajouter, plus toutes les résistances du premier circuit, excepté celle du rhéomoteur

$$\frac{2E}{2R+r}=\frac{E}{\frac{R}{2}+r+\lambda},$$

d'où :

$$R=r+2\lambda,$$

R étant la résistance du rhéomoteur, r les autres résistances du premier circuit, et λ la résistance ajoutée, au moyen du rhéostat, pour rendre la force du courant, dans le second circuit, égale à celle qu'il avait dans le premier.

J'ai trouvé que la résistance d'un des éléments de la batterie, décrite § V, était égale à 2128 fois l'unité choisie pour terme de comparaison.

XIII.

La résistance d'un rhéomoteur pris pour terme de comparaison, ayant été soigneusement déterminée par l'un ou l'autre des procédés que je viens de décrire, la résistance de tout autre rhéomoteur possédant la même force électro-motrice peut s'obtenir par une méthode encore plus expéditive. Ayant amené l'aiguille à un point déterminé, lorsque le rhéomoteur pris pour terme de comparaison se trouve dans le circuit, si on l'en retire et qu'on le remplace par le rhéomoteur qui doit être mesuré, le nombre des tours du rhéostat qu'il faudra ajouter au circuit ou en retrancher pour ramener la force du courant dans ce second cas à ce qu'elle était dans le premier, étant ajouté à la résistance du rhéomoteur unité, ou en étant retranché, donnera celle du rhéomoteur à mesurer. Si R' est plus grand que R, $R' = R + r$; s'il est plus petit, $R' = R + r$. Par ce simple procédé, on pourra aisément comparer les résistances d'éléments voltaïques de différentes formes, grandeurs.

XIV. Instruments pour mesurer la résistance des liquides.

Nous ne possédons maintenant aucune mesure exacte des conductibilités des liquides, et l'on n'a même encore dressé aucune table qui les représentât dans l'ordre réel de leurs pouvoirs conducteurs. Dans les expériences faites jusqu'à ce jour, et ayant cet objet en vue, on n'a nullement fait entrer en considération la force électro-motrice contraire qui s'établit généralement toutes les fois que le courant traverse un liquide susceptible d'éprouver une décomposition (§ XI, 4), d'où il suit que les résultats obtenus s'écartent grandement de la vérité. Par l'instrument fort simple représenté



fig. 4, je me suis trouvé en état de faire disparaître complétement cette source d'erreur et d'obtenir des résultats parfaitement constants. A est un tube de verre d'environ 2 pouces anglais de long, et d'un demi-pouce de diamètre intérieur; une portion du tube a été enlevée sur 1 pouce un quart de sa longueur, de manière à laisser un segment de 270°; à l'une des extrémités de cette ouverture est fixé un bouchon de métal terminé par une plaque de platine, et, à l'autre bout, se trouve

un piston mobile terminé aussi par une plaque de platine, et pouvant avancer jusqu'à un quart de pouce de la plaque fixe; l'étendue de sa course est ainsi limitée à 1 pouce, et l'on y adapte un appareil micrométrique, afin de mesurer exactement une portion quelconque de cet intervalle. Pour obtenir la mesure de la résistance d'un liquide, je procède de la manière suivante : j'interpose dans le circuit une petite batterie constante, composée d'environ trois éléments, avec le rhéostat, les bobines de résistance, le galvanomètre et le tube servant à mesurer ce que je viens de décrire. Le bout du piston se trouvant à un quart de pouce de la plaque fixe, je remplis l'espace entre les deux plaques du liquide dont je veux mesurer la résistance. J'ajuste ensuite le rhéostat de manière à amener l'aiguille du galvanomètre sur un point déterminé ; ayant noté ce point, je recule le piston, de manière qu'il laisse libre tout l'espace restant de 1 pouce, et je remplis le vide ainsi formé du même liquide. L'aiguille reculera vers zéro : je diminue alors la résistance du circuit au moyen du rhéostat et des bobines de résistance, jusqu'à ce que l'aiguille s'arrête au point où elle se trouvait, lorsqu'il n'y avait d'interposé qu'un quart de pouce de la colonne liquide. La longueur réduite du fil métallique, ainsi retirée du circuit, sera la mesure de la résistance de 1 pouce de liquide. La force électro-motrice contraire à laquelle donne naissance la décomposition du liquide existe dans le circuit pendant tout le temps de l'expérience, et par conséquent n'affecte pas le résultat.

La mesure de la résistance d'un liquide doit être prise aussitôt qu'il est placé dans le circuit, parce que si on laisse le courant agir sur lui pendant un temps quelconque, la nature de la solution change. Dans le cas de l'acide sulfurique, par exemple, la solution est rendue plus forte par la décomposition et la diminution par conséquent de l'eau, tandis que dans le cas d'un sel métallique, non seulement l'eau est décomposée, mais le métal est réduit, et l'acide libre dégagé. Néanmoins, dans les conditions de mes expériences, l'action chimique est si lente et le temps de l'opération si court qu'il n'y a lieu à aucun changement sensible de ce genre.

La résistance des liquides à la transmission de l'électricité est sans aucun doute une de leurs propriétés physiques les plus importantes. La recherche de toutes les circonstances qui apportent des modifi-

cations à cette propriété, surtout si elle est accompagnée de déterminations numériques exactes, devra nécessairement conduire à la découverte de relations importantes et jusqu'à présent inaperçues. La recherche seule des changements dus aux différents degrés de concentration et de température sera un travail qui exigera une très grande patience. J'ai constaté à l'aide du procédé précédent plusieurs mesures de résistances spécifiques de différents liquides conducteurs ; mais comme elles n'ont point été assez nombreuses pour qu'on puisse en tirer aucune conclusion générale, et que je suis en ce moment engagé dans une série plus étendue d'expériences dans lesquelles sera apportée la plus stricte attention à toutes les circonstances influentes connues, j'en remettrai l'exposé à une autre occasion.

Les corps possédant des différences si grandes dans leurs résistances spécifiques, et les moyens de déterminer cette propriété étant si faciles, on ne peut douter que dans la suite ce procédé ne soit très généralement employé pour découvrir la pureté des substances et les distinguer les unes des autres.

On peut encore mesurer la résistance d'un liquide conducteur par la méthode suivante : disposez un circuit dont la force électro-motrice et la résistance soient connues :

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{R}} = \mathrm{F};$$

interposez le liquide qui doit être le sujet de l'expérience dans une capsule munie de deux électrodes parallèles de platine ; l'expression correspondante à ce circuit sera alors :

$$\frac{\mathrm{I} - t\mathrm{E} - e}{\mathrm{R} + x} = \mathrm{F}',$$

e étant la force électro-motrice contraire, et x la résistance du liquide qui doit être déterminé. Ayant constaté la valeur de e par le procédé décrit § X, retranchez du circuit, au moyen du rhéostat et des bobines, une résistance suffisante pour ramener de nouveau la force du courant à être égale à F, l'expression deviendra alors :

$$\frac{\mathrm{E} - e}{\mathrm{R} - x - \lambda} = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}},$$

d'où :

$$x = \lambda - \frac{e}{E} R.$$

Ainsi donc, la résistance x du liquide égale la réduction λ retranchée du circuit par le rhéostat, moins la résistance du premier circuit, multiplié par le rapport e divisé par E.

XV. Usage du galvanomètre pour mesurer des forces électro-motrices quelconques.

Lorsqu'on fait usage d'un galvanomètre pour mesurer la force d'un courant, son fil métallique fait ordinairement partie du circuit; mais il est impossible, de cette manière, d'employer le même galvanomètre pour mesurer la force du courant dans des circuits de différentes espèces. Un galvanomètre, avec de nombreuses circonvolutions d'un fil mince, ajoute une résistance très considérable à un circuit dans lequel la force électro-motrice est considérable et la résistance faible, tandis que d'un autre côté un galvanomètre, avec un fil métallique court et gros, ne donnera guère aucune indication dans un circuit où la résistance est grande, quoique la force électro-motrice soit considérable. En outre, un galvanomètre très sensible est incapable d'indiquer des forces énergiques.

Mais par le moyen simple que je vais décrire, on peut faire ce même galvanomètre sensible, pour mesurer les forces d'un degré quelconque d'énergie et dans toute espèce de circuit, sans y introduire aucune résistance incommode.

Si l'on fait passer le courant simultanément par deux routes, dont l'une est le fil même du galvanomètre, et l'autre un autre fil métallique réunissant ces deux extrémités, le courant se partagera dans le rapport inverse des résistances des deux routes qui lui sont offertes. On peut donc réduire autant qu'on le voudra l'action sur l'aiguille du galvanomètre en employant différents fils métalliques pour dériver une portion du courant. Si les forces proportionnelles sont connues pour le galvanomètre non accompagné du fil de dérivation, elles demeureront également proportionnelles, quelle que soit la résistance du dernier; mais des mesures prises avec le même instrument, en se servant de fils de dérivation différents, ne seront

pas comparables, à moins que l'on ne tienne compte du changement advenu dans la résistance du galvanomètre. Mais on obtiendra des mesures strictement comparables si l'on a la précaution d'ajouter à la portion principale du circuit une résistance qui compense la diminution de résistance occasionnée par l'adjonction du fil de dérivation. Soient g la longueur réduite du fil du galvanomètre, et ng celle du fil de dérivation. La force du courant dans la portion principale du circuit sera, à celle qu'il possède dans le fil du galvanomètre, comme $1 : \frac{n}{n+1}$. La résistance qui est nécessaire à la portion principale du circuit pour maintenir le courant dans le même état que lorsqu'on n'ajoute pas de fil de dérivation, est $\frac{g}{n+1}$.

Lorsqu'on se propose de déterminer les mesures de courants énergiques au moyen d'un galvanomètre très sensible, il suffit d'attacher ses deux extrémités à deux points du fil conducteur (1). La distance entre ces deux points doit rester la même dans toutes les expériences dont on veut comparer les résultats; mais les déviations absolues de l'aiguille seront d'autant plus grandes que ces points seront plus écartés l'un de l'autre. Dans le cas d'un circuit d'une machine électro-magnétique puissante, ou d'un appareil galvano-plastique, la diminution de résistance occasionnée, en mettant en communication le fil du galvanomètre de la manière que je viens d'indiquer, est si peu de chose, qu'il serait inutile d'en tenir compte, et la compensation dont j'ai parlé plus haut cesse par conséquent d'être nécessaire.

(1) Le professeur Petrina de Linz a proposé (*Poggendorff's Annalen*, vol. LXII; 1842, numéro 9) un moyen semblable de mesurer et comparer des courants électriques d'un degré de force quelconque. Il interpose dans le circuit un canal rempli de mercure dont la section a quatre lignes carrées, et y plonge à différentes distances l'une de l'autre les extrémités du fil d'un galvanomètre très sensible. Il montre que si la résistance dans le fil du galvanomètre est très considérable, et que celle du mercure du canal soit faible en comparaison, la force qui agit sur l'aiguille du galvanomètre sera sensiblement proportionnelle à la distance entre les deux extrémités du fil, et il a fondé sur ce principe une méthode approximative facile de graduer le galvanomètre.

XVI. Appareil différentiel pour la mesure de la résistance.

La méthode décrite § IX, de déterminer au moyen du rhéostat la résistance des fils de métal et des autres conducteurs de l'électricité, est inapplicable lorsqu'il s'agit d'observer de petites différences. Si, par exemple, on veut soumettre à l'examen une petite longueur de fil, sa résistance est si faible, comparée aux autres résistances du circuit, y compris celle de la batterie, que, soit qu'on l'interpose ou non, il est impossible d'apercevoir aucun changement dans la déviation de l'aiguille, et lors même qu'on opérerait sur des longueurs plus considérables de la substance conductrice, des fluctuations dans la puissance de la batterie rendent souvent l'observation incertaine.

Le galvanomètre différentiel proposé par M. Becquerel, si cet instrument eût été aussi parfait dans la pratique que dans la théorie, nous eût mis à même de constater de très faibles différences de résistance avec une grande facilité. Mais il est presque impossible de disposer les deux fils enroulés de manière que des courants d'égale énergie produisent, en les parcourant, des déviations égales de l'aiguille dans des directions opposées, d'où il suit que le repos de l'aiguille à zéro n'est nullement une indication d'égalité dans les courants. Ce défaut et quelques autres ont empêché que le galvanomètre différentiel ne fût adopté.

Cependant tous les avantages qu'on se promettait de cet instrument peuvent être obtenus sans aucun des défauts qui l'accompagnent, au moyen de l'appareil simple que je vais décrire, et qui, de plus, a l'avantage de pouvoir s'adapter sur-le-champ à toute espèce de galvanomètre, au lieu d'exiger, comme dans le premier cas, une construction particulière de cet instrument.

La fig. 5 représente une planche sur laquelle sont placés quatre fils de cuivre *Zb*, *Za*, *Ca*, *Cb*, dont les extrémités sont fixées à des vis de jonction. Les vis Z, C sont destinées à recevoir des fils métalliques partant des deux pôles d'un rhéomoteur, et celles marquées *a*, *b* à saisir les extrémités du fil d'un galvanomètre. Par cette disposition, de chaque pôle du rhéomoteur partent deux fils qui se rendent, l'un à une extrémité du fil du galvanomètre, l'autre à l'autre extrémité, et si les quatre fils sont de longueurs et d'épais-

seurs égales et de la même substance, il s'établit un équilibre parfait ; de sorte qu'un rhéomoteur, quelque puissant qu'il soit, ne produit

Fig. 5.



pas la moindre déviation sur l'aiguille du galvanomètre, qui demeure stationnaire à zéro. Les circuits Z*ba*CZ et Z*ba*CZ sont dans ce cas exactement égaux ; mais comme les deux courants tendent à traverser le galvanomètre qui fait partie du circuit dans des directions opposées, il n'y a aucun effet produit sur l'aiguille. Cependant en Z*b*CZ et Z*a*CZ se trouvent établis des courants qui suivraient la route qui leur est ainsi tracée si l'on retirait entièrement le galvanomètre. Mais si l'on interpose une résistance dans l'un ou l'autre des quatre fils, l'équilibre du galvanomètre sera troublée ; si elle est insérée en Z*b* ou C*a*, le courant Z*ab*CZ sera prépondérant ; si on l'insère en Z*a* ou C*b*, le courant Z*ba*CZ se trouvera le plus énergique. Si la résistance interposée dans le fil est infinie, ou, ce qui est la même chose, si ce fil (que nous supposerons être C*b*) est supprimé, l'énergie du courant traversant le galvanomètre sera celle d'un courant partiel Z*ba* traversant l'un des fils de l'appareil du galvanomètre, la route suivie par la portion dérivée du courant étant Z*a*. D'après cette disposition, la force du courant primitif :

$$=\frac{E}{R+2r+g},$$

et celle du courant partiel agissant sur le galvanomètre :

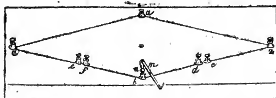
$$=\frac{Er}{R(3r+g)+2r^2+rg};$$

R étant la résistance du rhéomoteur, r celle de l'un des quatre fils, et g celle du galvanomètre.

L'équilibre ayant été troublé par l'introduction d'une résistance dans l'un des fils, on peut le rétablir en plaçant une résistance égale dans l'un ou l'autre des fils adjacents. Pour que l'on puisse introduire la résistance qu'on se propose de mesurer et celle qui doit en donner la mesure, les fils *Zb* et *Cb* sont interrompus, et des vis de jonction *cd* et *ef* sont fixées pour recevoir les extrémités des fils. L'équilibre, lorsqu'il est une fois établi, ne saurait être aucunement affecté par des fluctuations dans l'énergie d'un rhéomoteur.

La fig. 6 représente un arrangement des fils pour produire le même effet différent, et, sous quelques rapports, plus commode; on y a conservé les mêmes lettres de renvoi, et les observations précé-

Fig. 6.



dentes s'appliquent également. De légères différences dans les longueurs et même dans les tensions des fils suffisent pour troubler l'équilibre; il est donc nécessaire d'avoir un moyen d'ajustement par lequel, lorsque deux fils exactement égaux sont placés en *Ca* et *Za*, l'équilibre puisse être parfaitement établi. Pour atteindre ce but, dans l'instrument, fig. 6, une pièce de métal *n*, liée à la vis de jonction *b*, est incrustée dans la table, et une autre pièce de métal *m* se meut autour d'un centre fixé sur *n*, tandis que son extrémité libre repose toujours sur le fil. A mesure que la pièce mobile de métal fait un angle de plus en plus grand avec la pièce fixe, la résistance du trajet *Zb* est diminuée; si cependant l'équilibre était troublé par une trop grande résistance dans *Cb*, il faudrait placer la pièce mobile de métal du côté opposé de la pièce fixe.

On ne peut assigner de dimensions fixes à ces instruments. Les tablettes de ceux que j'emploie ont 14 pouces anglais de long et 4 de large; le fil de cuivre est de 1/20 de pouce de diamètre. Un

seul élément voltaïque d'une grande surface produira un effet plus considérable qu'une batterie de petits éléments (1). On peut substituer à l'élément ou à la batterie voltaïque un appareil thermo-électrique ou une machine électro-magnétique, et un voltamètre ou toute autre espèce de rhéomètre peut, dans quelques cas, tenir lieu de galvanomètre. Il est à peine nécessaire de dire que ces instruments ne sont point propres à mesurer les résistances des substances susceptibles d'éprouver des modifications chimiques sous l'action d'un courant électrique, en raison des forces électro-motrices contraires qui se manifestent dans de telles circonstances.

XVII. Second appareil différentiel.

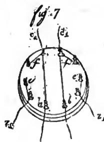
Il est peut-être bon de mentionner un autre appareil différentiel que l'on trouvera utile dans quelques circonstances; il est beaucoup plus sensible que les précédents; mais comme l'équilibre indiqué existe, non entre des portions dérivées du même courant, comme dans les instruments que nous venons de décrire, mais entre deux courants engendrés par des rhéomoteurs indépendants, l'état d'équilibre sera troublé à chaque fluctuation ou de la force électro-motrice, ou de la résistance de l'un ou l'autre des rhéomoteurs; il ne peut donc être employé que lorsque ces derniers sont parfaitement constants, ou lorsqu'on se propose, non pas de mesurer des résistances, mais d'observer les changements comparatifs éprouvés par deux rhéomoteurs.

La fig. 7 représente une planche circulaire sur laquelle sont fixés dix vis de jonction; les réophores de l'un des rhéomoteurs doivent s'attacher en C et Z; ceux de l'autre en C_2 et Z_2, et les extrémités du galvanomètre doivent être fixées en *a* et *b*. Les deux courants C_1, abZ_1 et Z_2abC_2 tendent à traverser le fil du galvanomètre dans

(1) Lorsqu'on emploie un seul élément de la batterie de Daniell de 6 pouces anglais de haut et de 3 1/2 de diamètre, que l'on interpose dans l'instrument deux fils de cuivre de 2 pieds anglais de long et de 1/40 de pouce de diamètre, on a une augmentation de 1/10 de pouce, dont l'un occasionne une déviation de 2 degrés dans l'aiguille du galvanomètre.

Cet exemple suffira pour montrer avec quelle exactitude les résistances peuvent être mesurées par cet instrument.

des directions opposées. Lorsque deux fils métalliques égaux sont interposés entre *ef* et *e'f'*, si les courants opposés sont égaux, un équilibre parfait s'établit dans le fil du galvanomètre, et l'aiguille



reste à zéro. Mais si la force du courant dans l'un ou l'autre des rhéomoteurs varie, ou si la force des deux rhéomoteurs restant constante, la plus légère différence vient à exister dans la résistance de l'un ou l'autre des fils interposés en *ef* et *e'f'*, l'équilibre dans le fil du galvanomètre est troublé, et l'aiguille éprouve une déviation.

XVIII Détermination du degré de l'échelle galvanométrique correspondant à l'intensité.

Si nous avions un moyen sûr et commode de déterminer quel degré de l'échelle galvanométrique indiquerait la moitié de l'intensité correspondante à tout autre degré donné, nos recherches numériques se trouveraient grandement facilitées. Les propriétés des courants dérivés, déduites de la théorie de Ohm, et pleinement confirmées par l'expérience, me mettent en état de proposer une méthode simple au moyen de laquelle ce but peut être complétement atteint.

Si un fil de la même longueur du diamètre et de la même conductibilité que celui du galvanomètre est placé de manière à en dériver une portion du courant, il est évident qu'une moitié de ce même courant traversera le fil du galvanomètre, et l'autre moitié se dirigera par le fil de dérivation. Quoique les considérations se trouvent simplifiées, en supposant que le fil ainsi ajouté ait exactement les mêmes dimensions et le même pouvoir conducteur que celui du galvanomètre, il est aisé de voir que le même résultat aurait lieu si les

deux fils offraient la même résistance, ce qui existe toujours lorsque $s'c'l = scl'$. Si le fil ajouté ne produisait aucune altération dans l'intensité du courant principal, une moitié de l'ancienne force agirait sur l'aiguille du galvanomètre; mais il n'en est point ainsi; l'addition de ce fil produit le même effet que si l'on eût doublé la section du fil du galvanomètre, et la résistance totale du circuit se trouve, en conséquence, diminuée. Si la force du courant primitif, lorsqu'il traverse tout entier le fil du galvanomètre, égale :

$$\frac{E}{R + r}$$

(r étant la résistance du fil du galvanomètre et R toutes les autres résistances du circuit),

$$\frac{E}{R + \frac{r}{2}}$$

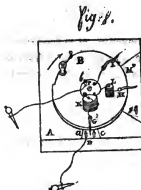
sera la force du courant principal lorsqu'on aura ajouté le fil de dérivation. Si maintenant on ajoute à la portion principale du circuit une résistance $= \frac{r}{2}$, c'est-à-dire un fil dont la résistance soit égale à la moitié de celle du fil du galvanomètre, l'intensité sera de nouveau :

$$\frac{E}{R + \frac{r}{2} + \frac{r}{2}}$$

et la force agissant sur le galvanomètre exactement moitié de ce qu'elle était auparavant.

On comprendra maintenant aisément la construction et l'usage de l'instrument représenté fig. 8. A est un morceau de bois carré ayant deux plaques de laiton isolées D, M incrustées sur sa surface, sur lesquelles sont fixées les vis de jonction C, Z et a; B est un cercle aussi de bois mobile autour de son centre. Sur ce cercle mobile sont fixés la plaque isolée de laiton F, portant la vis de jonction b, et les trois ressorts G, H, I, dont les extrémités libres pressent contre la planche A. Un fil métallique enroulé K, dont la résistance mesurée

par le procédé décrit § XVI est équivalente à celle du fil du galvanomètre, est uni par ses deux extrémités à la plaque de laiton F



et au ressort G ; et un autre fil enroulé L, dont la résistance est moitié de celle du précédent, est semblablement interposé entre la plaque de laiton et le ressort H. Un fil court met en communication la plaque F et le ressort I. E est un bouton au moyen duquel on communique un mouvement de rotation suivant un arc peu étendu au cercle mobile qui le porte.

Les fils conducteurs partant des pôles d'un rhéomoteur étant saisis par les vis de jonction C, Z et les extrémités des fils du galvanomètre attachés aux vis *a* et *b* dans la position de l'instrument représentée dans la figure 8 ; les ressorts G et H pressant respectivement sur les plaques de laiton isolées D et M, la principale portion du courant traverse le fil de résistance enroulé L, et le courant se partage ensuite également entre le fil du galvanomètre et le fil enroulé K. Mais lorsqu'on fait mouvoir le cercle dans la direction de la flèche, les ressorts G, H abandonnent les plaques de laiton et posent sur le bois, tandis que le ressort I est amené en contact avec la plaque M ; les deux fils enroulés cessent de faire partie du circuit, et le courant passe en entier à travers le fil du galvanomètre.

Il est à peu près inutile de faire observer que cet instrument ne peut être employé qu'avec le galvanomètre pour lequel les fils enroulés K et L ont été ajustés.

Dans quelques cas, lorsqu'une expérience a été faite avec un

courant d'un certain degré d'intensité, il est nécessaire de la répéter avec des courants d'autres degrés de force, dont les rapports au premier courant aient été exactement déterminés. L'instrument que je viens de décrire fournit un moyen facile d'effectuer cette détermination. On peut ainsi constater si la force électro-motrice dans une combinaison particulière quelconque varie ou demeure constante lorsque l'énergie du courant est modifiée.

XIX. Procédé pour déterminer les degrés de déviation de l'aiguille d'un galvanomètre correspondant aux divers degrés de force, et réciproquement.

Lorsque la force électro-motrice du circuit reste constante, la force du courant est inversement proportionnelle à la résistance ou longueur réduite du circuit. Si donc on détermine la résistance totale du circuit lorsque l'aiguille est sur 1°, et qu'ensuite, au moyen du rhéostat et des bobines de résistance, la résistance soit successivement réduite à 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, etc, les forces correspondantes du courant seront 2, 3, 4, 5, etc.; réciproquement, si l'on détermine successivement les longueurs réduites *a*, *b*, *c*, *d*, etc., qu'il est nécessaire de retrancher du circuit pour faire avancer l'aiguille de chaque degré à celui qui le suit immédiatement, les forces correspondantes à ces différents degrés seront :

$$\frac{1}{R}, \frac{1}{R-a}, \frac{1}{R-(a+b)}, \frac{1}{R-(a+b+c)}, \text{etc.}$$

Par les procédés ci-dessus, les relations entre les degrés de force et ceux de l'échelle galvanométrique peuvent se déterminer d'une manière beaucoup plus expéditive que par aucune des méthodes ingénieuses de Nobili, Becquerel, Melloni. Si nous considérons les modifications que peuvent apporter dans l'aiguille d'un galvanomètre sensible, surtout si elle est astatique, l'influence de courants énergiques, le voisinage des aimants, et, à un degré moindre, les changements de température et les variations dans l'intensité du magnétisme de la terre, nous ne saurions nous dispenser d'apprécier convenablement l'importance de posséder un moyen facile de regraduer l'instrument.

Je regrette vivement que M. Wheatstone n'ait pas indiqué, dans un appendice pratique, comment l'on pouvait déduire des données

et des lois générales qu'il établit dans son beau mémoire, la solution immédiate des questions que soulève la transmissiou des courants dans la télégraphie électrique. J'aurais voulu qu'il indiquât en quelques lignes comment il résout ce grand problème : étant donnée la distance que les dépêches télégraphiques doivent parcourir, comment déterminer, *à priori*, la grosseur du fil à employer et l'intensité de la source électrique, c'est-à-dire les dimensions et les conditions essentielles de la pile ou de l'appareil électro-magnétique? Je pourrais bien essayer d'extraire moi-même cette solution des principes posés par l'illustre professeur, mais mon travail serait nécessairement imparfait; j'aime mieux devoir ce complément nécessaire à l'amitié de M. Wheatstone, qui ne me le refusera pas; je le joindrai à la partie descriptive de ce mémoire. Je ne puis qu'indiquer ici d'une manière générale la marche à suivre. On peut se donner, *à priori*, la grosseur du fil; de son diamètre et de sa nature on déduira sa conductibilité; cette secoude quantité connue, jointe à la distance qui sépare les deux stations, ou à la longueur totale du fil, détermine la résistance absolue qu'il opposera à la transmission du courant; cette résistance est donnée par un nombre, et pourra se reporter sur le rhéostat ou être évaluée par un certaine longueur de fil très fin sur lequel on pourra expérimenter. Il ne restera plus qu'à modifier les dimensions et le nombre des éléments de la pile, ou la longueur et le diamètre du fil d'induction de la bobine sur laquelle se développe le courant électro-magnétique, jusqu'à ce que le courant obtenu par l'uu ou l'autre de ces deux appareils surmonte la résistance du fil fin, et produise, après l'avoir surmonté, les effets d'aimantation qui sont nécessaires aux deux stations pour faire apparaître les signaux. Quand cet effet se sera produit à travers le fil fin, on sera assuré qu'il se produira à travers la longueur de gros fil qui doit joindre les deux stations extrêmes de la ligne télégraphique. Par des expériences de ce genre, M. Wheatstone avait conquis le droit d'affirmer, même avant l'expérieuce, que l'on pourrait faire parcourir aux signaux une distance de plus de 140 lieues de France, etc., etc.

Qu'on me permette encore d'énoncer ici un grand enseignement que j'ai puisé daus mes rapides conversatious avec M. Wheatstone; ce sera uue preuve de plus de cette vérité trop méconnue, qu'il est

quelquefois et même souvent aussi difficile de conclure du grand au petit que du petit au grand. On admet volontiers que ce qui réussit en petit peut ne pas réussir en grand, mais on admet difficilement que ce qui réussit en grand pourrait ne pas réussir en petit. Lorsque le courant électro-magnétique n'a à vaincre qu'une faible résistance, on n'a à parcourir qu'un fil très court; l'imperfection des contacts, dans la machine, se fait sentir dans une proportion énorme, de telle sorte que si la diminution d'effet produit avait dû, comme on pouvait le craindre, croître dans le même rapport que la résistance ou la longueur du fil, on en aurait conclu rigoureusement que la télégraphie électrique était tout-à-fait impossible; heureusement qu'il n'en a rien été. Au contraire, lorsque la longueur et la résistance sont très grandes, l'imperfection des contacts qui est restée constante n'équivaut plus qu'à une fraction très petite de la résistance; elle n'est plus sensible, et l'effet d'aimantation n'est par elle aucunement diminué. L'exécution en grand offre ici, comme dans beaucoup d'autres circonstances, de notables avantages. Combien de magnifiques inventions auraient été accueillies avec la faveur qu'elles méritaient si on les avait jugées d'après les principes que nous venons de rappeler! Il est absurde sans doute d'affirmer généralement que ce qui réussit en petit réussira en grand; mais il n'y pas moins d'absurdité, et il y a souvent plus d'injustice à dédaigner une invention dont le succès peut avoir de grandes conséquences sous prétexte qu'elle n'a encore réussi que sur une petite échelle. Si M. Wheatstone s'était laissé effrayer par la diminution énorme que l'imperfection de contact doit produire dans les effets d'aimantation des machines de nos cabinets, il n'aurait peut-être pas osé croire à l'emploi des machines électro-magnétiques pour la transmission des signaux, et la télégraphie électrique ne serait pas encore réalisée.

TROISIÈME SECTION.

De la terre considérée dans ses rapports avec la transmission des courants électriques.

J'aurai, dans cette section, trois études importantes à rappeler. Des expériences certaines démontrent, en effet : 1° que la terre est

jusqu'à un certain point conductrice de l'électricité ; 2° qu'elle peut même à la fois l'engendrer et la transmettre ; 3° qu'elle détermine enfin sa transmission par une action particulière dont on peut se rendre compte en supposant qu'après avoir fait la fonction de réservoir, elle dissimule l'électricité qu'elle a reçue en la faisant se perdre dans son sein. Je suivrai encore cette fois la marche historique, et j'enregistrerai d'abord par ordre de date les diverses recherches des physiciens.

EXPÉRIENCES D'ALDINI, ERMAN, BASSE, WALTON, STEINHEIL.

J'ai déjà rappelé les belles expériences d'Aldini. Erman et Basse en firent de semblables, le premier sur la rivière Havel, près Postdam, le second sur la rivière Wern, aux environs de Hamel.

Le 14 et le 18 juillet 1747, Walton, aidé de plusieurs savants anglais, s'assura que la décharge d'une bouteille de Leyde pouvait traverser un fil métallique attaché le long du pont de Westminster, à Londres, et revenir à travers l'eau de la Tamise. Le 14 août, il trouvait encore qu'un circuit formé de deux milles de fil de fer et de deux milles de terrain sec était franchi avec facilité et dans un temps inappréciable par le fluide électrique.

Le conducteur du télégraphe construit à Munich en 1837 était formé d'un fil de cuivre d'une lieue trois quarts d'Allemagne, terminé à ses deux extrémités par deux plaques de cuivre enfoncées dans la terre. Or, dit M. Steinheil, « quoique la terre ne soit que peu douée de la faculté conductrice en comparaison des métaux, le courant galvanique traversait la distance dont il vient d'être parlé avec une résistance d'autant plus petite qu'on augmentait davantage la surface des plaques enterrées. » M. Steinheil, comme on le voit, attribuait la transmission du courant à la conductibilité de la terre. J'ai déjà dit que cette expérience constituait par elle-même une très grande découverte. M. Bain ne veut pas absolument que le savant physicien bavarois l'ait précédé dans une carrière qu'il prétend avoir parcourue le premier. Si, dit-il, M. Steinheil avait constaté ce fait en 1837, il en serait fait mention dans les *Annales de Poggendorff* : or, M. Poggendorff n'en dit pas un mot, donc l'expérience n'a pas été faite. Voilà comment raisonnent, ici comme partout, les défenseurs de M. Bain. Il est vrai que M. Poggendorff,

je ne sais pourquoi, a gardé le silence sur le télégraphe de M. Steinheil; mais les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* et un grand nombre d'autres recueils renferment la note que j'ai reproduite dans la première partie de ce mémoire.

Dans une note lue en avril ou mai 1843, dans une réunion de la Société des arts, M. Cooke, l'associé de M. Wheatstone, disait que deux ans auparavant, c'est-à-dire en 1841, ou quatre ans après Steinheil, il avait constaté, par des expériences positives et pleinement satisfaisantes, exécutées d'abord sur le chemin de Bleckwall, et ensuite sur les voies de fer de Manchester et Leeds, que la terre pouvait remplacer pleinement la moitié du fil conducteur, ou le fil conducteur de retour, sans qu'on eût à craindre que le courant, s'échappant par des substances conductrices moins isolées et d'un trajet plus court, ne revint au point de départ. Il concluait de ce fait que la terre était parfaitement isolée; c'était en même temps la considérer comme conductrice de l'électricité. Voici textuellement ses paroles: « La terre agissant comme un grand réservoir d'électricité, ou, sous quelques rapports, comme un excellent conducteur, la résistance offerte à la transmission du fluide électrique est grandement diminuée, et la pile peut agir à une bien plus grande distance avec un fil conducteur d'un plus petit diamètre. »

EXPÉRIENCES DE M. BAIN.

M. Bain ne veut pas non plus que MM. Cooke et Wheatstone aient répété en 1841 les expériences faites par M. Steinheil en 1837. Il voudrait avoir découvert le premier, en juin 1842, 1° qu'on trouverait beaucoup d'avantages à utiliser les réservoirs d'eau naturelle ou la terre humide pour remplacer dans les télégraphes électriques la moitié du circuit voltaïque; 2° que si l'on attache aux deux extrémités d'un fil métallique deux larges surfaces de métal, et qu'on mette ces surfaces en contact avec l'eau ou le sol humide, ce double contact donnera immédiatement naissance à un courant qui ira, dit-il, du fil à l'humide et de l'humide au fil. Il ajoute que ces deux faits furent consignés à cette époque dans tous les recueils périodiques de Londres, et que personne ne réclama contre la

priorité de cette découverte, qu'il ne voulait partager qu'avec M. Wright.

Il est évident que M. Bain ne peut pas même réclamer la gloire de la seconde expérience; M. Gauss, comme je le prouverai, a réellement constaté le premier l'apparition d'un courant électrique dans un fil mis en communication avec le sol par de larges surfaces fixées à ses extrémités, ce qui constitue un fait réellement important. Deluc, il est vrai, a dit quelque part dans l'un de ses ouvrages que si l'on pouvait joindre la lune à la terre par un conducteur métallique, ce conducteur serait parcouru par un courant électrique : c'est une grande et belle idée, mais qui n'était pas arrivée à l'état de démonstration. On ajoute même que Deluc, dans cet énoncé, considérait la terre et la lune comme deux vastes réservoirs qui, par leur capacité absorbante, déterminaient la circulation et la manifestation du courant. Cette assertion m'étonne, car elle établirait pour Deluc une prévision que l'on pourrait classer parmi les divinations du génie. Même en 1845, ces deux faits reconnus, que la terre remplace le fil de retour et détermine l'apparition du courant, ont été mal interprétés et mal définis, le premier par beaucoup de physiciens, sous le nom de *conductibilité de la terre;* le second par MM. Wright et Bain, sous la dénomination de *pouvoir électromoteur permanent de la terre.*

Quoi qu'il en soit de ces questions de priorité, on retrouvera ici avec plaisir le résumé rapide des expériences faites par M. Bain sur la rivière Serpentine, dans Hyde Park, en 1842.

Il avait vu en 1841 que si un conducteur fermé, mis en communication d'une part avec les deux pôles d'une pile, de l'autre avec les extrémités du fil d'un électro-aimant, n'était pas parfaitement isolé dans son passage à travers une masse d'eau, le pouvoir d'attraction de l'électro-aimant ne cessait pas quand on venait à rompre le circuit. Ce fait complexe n'a rien de surprenant; il devint la cause occasionnelle des expériences suivantes.

Première expérience. — Sur l'un des bords de la rivière, on avait placé une pile de six éléments, sur l'autre un électro-aimant; deux fils partant des pôles de la pile traversaient la rivière et se rattachaient aux extrémités du fil de l'électro-aimant. Si l'on rompait le circuit en détachant le fil d'un des pôles de la pile, l'attrac-

tion de l'électro-aimant ne cessait pas entièrement. Si on rompait le circuit en détachant le fil de l'électro-aimant, l'attraction cessait sur-le-champ; l'armature se détachait d'elle-même; mais quand, après quelques minutes, on la rapprochait, elle s'y fixait de nouveau. M. Bain semble vouloir conclure de ce fait que le premier courant avait fait place, après la rupture, à un courant de direction contraire. Ces particularités s'expliqueraient facilement, mais elles sont trop peu importantes pour que je doive m'y arrêter.

Deuxième expérience. — Elle est semblable en tout à la première, si ce n'est qu'à la place de l'électro-aimant on plaçait dans le circuit un galvanomètre; elle a d'ailleurs donné les mêmes résultats.

Troisième expérience. — On n'employait qu'un seul fil conducteur dont les extrémités roulées en spirale plongeaient dans l'eau de la rivière; on plaçait dans le circuit, sur le rivage, une pile et un galvanomètre. Le circuit était, dans cette disposition, complété par l'eau interposée entre les deux extrémités du conducteur; le courant se transmettait parfaitement, et cessait immédiatement quand le circuit était rompu.

Quatrième expérience. — L'une des extrémités du conducteur, roulée en spirale, plongeait dans la rivière, l'autre plongeait dans un puits situé sur le rivage, à la distance de 150 mètres. La pile et le galvanomètre étaient encore placés dans le circuit; le courant passait très librement, quoique la seconde moitié du conducteur se composât de l'eau du puits, de sa paroi, de la terre et de l'eau de la rivière.

Cinquième expérience, faite quelques mois après sur un terrain appartenant à M. Finlaison. — L'une des extrémités du conducteur, terminée par une surface de métal électro-négatif, plongeait dans un second réservoir; il n'y avait plus de pile, le galvanomètre seul était placé dans le circuit que complétait la portion de sol comprise entre les deux réservoirs. La déviation de l'aiguille constata la présence d'un courant énergique; les deux faits que nous avons distingués plus haut étaient ici réunis. Cette expérience fait honneur à M. Bain, qui ne connaissait pas les essais faits à Gœttingue par M. Gauss.

Sixième expérience. — Semblable en tout à la précédente, si ce

n'est que les deux plaques métalliques, cuivre et zinc, plongealent dans la rivière Serpentine et d'un même côté; le courant allant du zinc au cuivre était très intense.

Septième expérience.— Les deux plaques plongeaient encore dans la rivière, mais l'une d'un côté, l'autre de l'autre; le fil conducteur traversait la rivière; une partie du courant se perdait dans l'eau.

Huitième expérience. — Une plaque de cuivre était enfoncée en terre dans Hyde Park; à plus d'un mille de là, une plaque de zinc plongeait aussi dans le sol: les deux plaques étaient réunies par un fil conducteur; on plaçait un galvanomètre dans le circuit; on voyait aussitôt se manifester un courant plus ou moins intense, suivant que la surface des plaques était plus ou moins grande et que le sol était plus ou moins humide.

MM. Wright et Bain avaient cru que cette source nouvelle d'électricité était assez abondante pour pouvoir, dans une multitude d'applications, dans la télégraphie électrique par exemple, remplacer la pile ou les appareils électro-magnétiques : c'était évidemment une exagération; les effets obtenus jusqu'ici sont sans importance réelle. La plus curieuse des applications exécutées en ce genre par M. Bain est un pendule qui réalise autant qu'on peut le faire l'idée chimérique du mouvement perpétuel; je le décrirai plus tard.

Après les expériences de MM. Wright et Bain, vinrent celles de M. Wheatstone sur la Tamise; nous en avons déjà parlé. Elles nous conduisent aux essais faits en 1844, sur la proposition de M. Matteucci. Voici quels en furent les résultats.

EXPÉRIENCES FAITES A MILAN EN 1844.

Dans la première expérience, le circuit, tout métallique, était de 12,500 mètres à peu près; dans la seconde, le circuit était en partie métallique et en partie en terre, c'est-à-dire 12,500 mètres de fil, et 125,000 mètres de terre; dans la troisième, le circuit était tout métallique, de 25,000 mètres.

La pile était un seul couple à force constante.

Les intensités ont été dans les rapports de 30 : 27 : 17.

Il résulterait de là la confirmation de ce que M. Matteucci avait trouvé à des distances moindres.

Le premier circuit, tout métallique, qui donnait 30, était la moitié du second en longueur. Ce second se composait du même fil et de la terre, et dans ce cas on trouvait 27. La différence est très petite en comparaison du double de longueur du circuit; on l'aurait certainement trouvée à de moindres distances de terre, car elle est due au changement de conducteur.

Dans la troisième expérience, lorsque le circuit était tout métallique et de la même longueur que le second, la différence devenait très grande.

Quand on emploie la terre à de grandes distances, non seulement la résistance due à la longueur disparaît, mais on ne trouve plus celle même du fil employé. Je doute toujours que ce résultat soit dû à des actions chimiques sur les plaques. Il serait très important pour la science et pour la télégraphie de faire de plus grandes expériences.

Ces quelques lignes ne donnent pas une idée suffisante des recherches consciencieuses faites avec l'appareil que la ville de Milan fit construire à l'occasion du sixième congrès scientifique. Comme il s'agit d'ailleurs d'un point important de la science, je reproduirai textuellement le mémoire publié à ce sujet par M. Magrini (*Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, 20 janvier 1845.)

EXPÉRIENCES DE M. MAGRINI.

Le long du chemin de fer qui conduit de Milan à Monza, quatre fils furent tendus sur une distance de 13 kilomètres; deux de ces fils étaient en fer ayant le diamètre de 1 2/10 millimètre, et les deux autres en cuivre du diamètre de 5/8 de millimetre. De cette manière, les sections des deux métaux étaient presque en proportion inverse de leur conductibilité. Ces fils, qui représentaient ensemble un circuit de 52 kilomètres, étaient soutenus par des pieux en bois sec auxquels étaient attachés des brochettes en fer, couvertes de taffetas gommé; les fils étaient arrêtés en tournant une fois sur ces brochettes.

Après plusieurs expériences exécutées avec un très grand soin, expériences décrites dans un ouvrage, qui sera bientôt publié, il fut reconnu que l'isolement des fils pouvait être considéré comme physiquement parfait tant que ces fils seraient parcourus par des

courants de faible intensité, tels que sont les courants telluriques, et ceux que produit une pile à la Bagration, dont je me suis ordinairement servi.

Voici quelques uns des principaux résultats obtenus :

Propriété des courants telluriques qui passent par des fils d'une grande longueur ne formant pas un circuit fermé.

1° Une lame de métal ensevelie dans la terre humide ou dans l'eau, en communication avec la masse entière du globe, perd l'équilibre électrique, en rendant libre une partie de son électricité naturelle, de manière que si l'on attache à la même lame un appendice de fil métallique qui s'allonge de plusieurs milles, et qui soit soutenu dans l'atmosphère, la rupture de l'équilibre ou le mouvement électrique se communique à ce fil, produisant ce que l'on est convenu de nommer courant électrique, et que je distingue par le nom de *courant tellurique.*

2° L'intensité de ce courant diminue à l'origine du fil avec une progression très rapide en s'éloignant de la lame; mais, passé une certaine distance, la diminution procède avec lenteur. Vers l'extrémité libre du fil, le mouvement s'éteint, c'est-à-dire qu'il n'est plus sensible aux instruments.

La propagation de ce mouvement paraît analogue à la propagation du calorique dans les bons conducteurs.

3° Le fil de fer et le fil de cuivre ne se comportent pas, à cet égard, de la même manière. La loi du décroissement est plus rapide et moins régulière dans le fer que dans le cuivre.

4° Lorsque l'on expérimente à une distance toujours déterminée de la lame, l'on peut augmenter jusqu'à une certaine limite l'intensité du courant, en allongeant le fil.

5° La force du courant augmente jusqu'à une certaine limite, en étendant davantage la surface de la lame.

6° L'intensité de ce courant varie (quoique ordinairement elle se montre avec une force constante dans le même lieu de la terre) en changeant le lieu d'immersion de la lame; ces différences sont déjà assez notables d'un kilomètre à l'autre, le long de la ligne de l'appareil.

7° La direction du courant tellurique est intimement liée à la na-

ture du métal dont est formée la plaque ensevelie dans le terrain; par exemple, une lame de zinc engendre dans les fils un courant qui va en sens contraire de celui qui s'obtient avec une plaque de cuivre.

8° Un fil métallique soutenu dans l'atmosphère, qui se termine, aux deux extrémités, en deux lames ensevelies dans la terre, constitue un rhéomoteur, dans lequel s'engendrent deux courants, c'est-à-dire qu'il y a dans le fil un mouvement composé : les deux courants sont contraires ou conspirants, selon que les lames sont formées de métaux capables d'exciter le fluide électrique dans le même sens, ou dans un sens opposé, c'est-à-dire qu'ils sont contraires lorsque les deux courants montent, ou que les deux descendent par le fil, et ils sont conspirants lorsque l'un monte et l'autre descend. Dans le premier cas, l'on obtient une résultante presque égale à la différence des actions élémentaires (le pôle électro-négatif se trouvant toujours du côté de l'action prévalente); et, dans le second cas, la résultante s'approche de la somme des mêmes actions.

9° Quoique les plaques soient formées du même métal, qu'elles aient leur surface d'égale grandeur et soient pareillement décapées, la cessation de l'équilibre a toujours lieu dans le fil. Le courant qui se révèle en pareil cas ne provient pas du manque absolu d'homogénéité dans les plaques, mais dépend plutôt de la qualité de la terre ou de l'eau dans lesquelles elles plongent, du moins d'après les expériences jusqu'à ce jour exécutées, car le courant conserve toujours la même direction lorsque les deux lames échangent le lieu d'immersion.

10° Ce qu'il y a de certain, c'est que le courant qui se manifeste dans un fil métallique qui se termine, à son extrémité, en deux lames enfoncées dans la terre, accomplit le circuit moyennant la terre même, et constitue une espèce de pile à la Bagration.

Propriétés des courants métalliques lorsqu'ils parcourent une chaîne métallique qui se ferme.

11° Dans une chaîne fermée, construite par deux fils métalliques soutenus dans l'atmosphère, il y a courant lorsque la chaîne communique avec le terrain humide par la conjonction d'un autre fil

métallique qui se termine à son extrémité par une lame ensevelie dans la terre ; je nomme *nœud* le point de conjonction.

12° L'intensité du courant est à son maximum près du nœud, diminue en s'en éloignant, passe par zéro, et enfin change de direction, et en s'approchant du nœud par l'autre côté, présente les mêmes phénomènes.

13° Le zéro, ou bien le lieu où subsiste l'équilibre, n'est pas disposé tout-à-fait symétriquement dans la chaine, ce qui provient peut-être du manque d'homogénéité dans toutes ses parties. Cependant, lorsque le circuit s'allonge, la position du zéro tend toujours à devenir plus symétrique. L'intensité du courant influe aussi sur le déplacement du zéro ; car plus le courant se trouve être faible, plus aussi l'équilibre approche de se trouver vers la moitié du circuit.

14° Ouvrant la chaîne où s'est formé le nœud, le courant acquiert presque une intensité double, et conserve dans l'arc métallique une seule direction.

Cela fait supposer qu'en partant du nœud, le courant se partage en deux courants qui vont se rencontrer et se heurter. Voilà la cause de la double intensité : l'interruption, c'est-à-dire la communication du mouvement, ne peut s'accomplir, le circuit n'étant ouvert que par un seul véhicule.

15° Les courants telluriques s'engendrent aussi en sens contraire de la force électro-motrice propre des métaux et des liquides isolés de la masse du globe terrestre.

En effet, une lame de cuivre ensevelie dans la terre excite, dans un fil en cuivre très long et soutenu dans l'air, un courant comme si ce fil jouait le rôle du zinc d'un couple voltaïque.

La lame de cuivre continue d'agir comme le pôle négatif, même lorsqu'elle est plongée dans une dissolution de sel ammoniac contenue dans une auge de terre poreuse et en communication avec la masse entière du globe.

16° Une lame de fer qui s'oxide dans l'eau ou dans l'acide nitrique étendu, en communication avec la masse du globe, produit le même effet, c'est-à-dire qu'elle joue le rôle de pôle négatif aussi bien avec le fil de fer qu'avec le cuivre soutenus dans l'air ; le courant se comporte comme si le galvanomètre était situé entre le

cuivre et le zinc d'un couple voltaïque, le zinc se trouvant constamment du côté du fil soutenu dans l'atmosphère.

Ces faits, qui ne se sont jamais démentis, ne sont pas conciliables avec l'hypothèse que la lame combinée avec le fil constitue un couple voltaïque ordinaire, en admettant que c'est le cuivre qui pousse vers le fer.

17° Mais pour en donner une preuve éclatante, il suffit d'interrompre la communication de la plaque avec la terre, de prendre une portion de cette terre ou de cette eau, dans laquelle se trouvait immergée la plaque, et de former, au moyen d'une auge isolée, un couple voltaïque entre la plaque de fer et le fil de cuivre : alors on a le courant en direction contraire de celui qui s'obtient lorsque la plaque est en communication avec le globe terrestre.

18° Parmi les métaux déjà éprouvés dans le sein de la terre, le platine, le cuivre, le laiton, le fer, la fonte, l'étain, le plomb, sont ceux qui excitent le fluide électrique dans une même direction par rapport à notre globe, et ils peuvent être considérés comme électro-négatifs dans le langage de Volta, par rapport aux fils métalliques soutenus dans l'air, et comme électro-positifs par rapport à la terre, quoique les deux derniers présentent quelquefois des anomalies dont il serait trop long de parler ici.

19° Le zinc est le seul métal entre les métaux communs qui, dans toutes les combinaisons, manifeste constamment la puissance d'exciter le fluide électrique en direction contraire des autres métaux. En conséquence, on doit le considérer comme étant jusqu'ici le seul électro-positif par rapport aux fils, et électro-négatif par rapport à la terre.

Sur la cause des courants telluriques.

20° Dans l'état actuel de la science, il paraît que l'on ne peut expliquer ces phénomènes sans attribuer au globe terrestre une force électro-motrice capable aussi de détruire celle qui se produit ordinairement entre les métaux et les liquides isolés. Notre planète serait l'électro-moteur le plus négatif de tous les métaux déjà nommés, sauf le zinc, parce qu'il pousserait le fluide dans le premier, et il le recevrait du dernier.

21° M. Becquerel avait depuis longtemps indiqué aux physiciens

la propriété possédée par un métal de rendre libre une partie de son électricité naturelle, et de se mettre en état de tension lorsqu'il est plongé dans un liquide.

Il est clair pourtant que, puisqu'il existe un moyen capable de dissiper cette électricité libre, ou de la rendre latente, le métal doit se remettre dans son état naturel pour devenir de nouveau électrique, si toutefois le liquide peut aussi reprendre son état primitif, et conserver en conséquence sa force électro-motrice.

Or, si à la plaque de métal on attache un appendice en fil très long soutenu dans l'air, et que celui-ci soit capable de recevoir l'électricité jusqu'à la rendre latente, éteignant le mouvement à mesure qu'il s'y développe, on comprend qu'il soit possible que dans ce fil il s'effectue un courant dont l'intensité aille en diminuant avec rapidité au fur et à mesure qu'il s'éloigne de la lame.

C'est justement en cela que consiste le rhéomoteur tellurique; car le terrain humide, ou l'eau en communication avec la masse entière du globe, ne conserve jamais aucun degré de tension, et, en conséquence, se retrouvant toujours dans l'état naturel, et avec une force électro-motrice constante, doit toujours exciter dans la plaque et maintenir le mouvement, pendant que le fil tend continuellement à rétablir l'équilibre. Il est inutile d'entrer ici dans des explications plus circonstanciées. Je dirai seulement que, en interrogeant l'expérience, on parvient à démontrer, avec la rigueur qu'exige la science, qu'un couple voltaïque peut se retrouver dans les conditions mêmes d'un rhéomoteur tellurique composé, et produire en conséquence des courants sans le circuit.

22° Lorsqu'on vient ensuite à établir entre le circuit métallique parcouru par un courant voltaïque et la masse du globe, une, deux ou plusieurs communications simultanées, avec des plaques de métaux différents, et qu'on varie la position respective de ces lames, du galvanomètre et du rhéomoteur, on obtient des phénomènes singuliers et en apparence inconciliables entre eux, mais qui reçoivent une explication facile et naturelle dans l'hypothèse de l'électro-motricité du globe.

La terre conduit les courants électriques.

Les expériences exécutées à ce sujet par M. Matteucci conduisent

à des résultats complexes qui appartiennent à ce nouvel ordre de phénomènes.

23° J'ai trouvé qu'une portion de terre interposée entre deux plaques métalliques, jointes ensemble au moyen de fils conducteurs avec les pôles d'une pile voltaïque, oppose au passage du courant une résistance qui peut être égale, ou plus grande, ou moindre que celle présentée par un fil métallique très fin, qui ait la même longueur, et cela selon la nature ou la grandeur de la lame.

Dans de telles recherches, il faut pourtant avoir égard à l'électromotricité de la terre et aux courants telluriques qui peuvent se rendre contraires ou conspirants avec le courant voltaïque, et il faut, en conséquence, avoir égard aux corrections que ces conflits exigent.

24° En général, la résistance du terrain diminue jusqu'à une certaine limite, en augmentant la surface des plaques qui sont plongées dans son sein.

25° Il en résulte que, dans un circuit mixte, c'est-à-dire formé en grande partie par le fil métallique et en partie par la terre, le courant peut acquérir plus d'efficacité que dans un circuit tout métallique de la même longueur.

Ce fait a déjà été annoncé par M. Mateucci.

26° Cependant on n'a pas trouvé qu'avec l'intermédiaire de la terre, la résistance opposée par le fil métallique qui fait partie du circuit puisse diminuer, comme il semble que M. Mateucci l'avait déduit de ses premières expériences.

27° De même on n'a pas trouvé qu'un intervalle de terre plus ou moins long présente la même résistance, comme cela semblait à l'expérimentateur de Pise.

Quant à moi, j'ai démontré, par une longue série d'expériences enchaînées de plusieurs manières, que lorsque la terre intervient dans un circuit voltaïque, elle se comporte comme des conducteurs ordinaires, et qu'à la terre comme à tout autre conducteur peut être appliquée la loi que M. Ohm a renfermée dans sa formule.

J'ai trouvé, en effet, que la terre, à côté de mon appareil, présente une résistance *moyenne* équivalente à celle de 260 mètres de mon fil pour chaque kilomètre de distance, et que la *résistance de passage*, qui peut être considérée comme une constante, correspond à peu près à 200 mètres du même fil.

C'est pour cela que le professeur Mateucci, expérimentant entre de très courtes distances (de quelques centaines de mètres), et avec un galvanomètre peu sensible, ne pouvait pas signaler cette résistance.

Propriété des courants telluriques lorsqu'ils parcourent une chaine formée par différents métaux.

28° Les propriétés que manifestent les courants telluriques, lorsqu'ils parcourent une chaine formée de différents métaux, sont très remarquables.

Dans un circuit de 52 kilomètres, moitié de fer, moitié de cuivre, les courants telluriques produits par des plaques de platine, de cuivre, de zinc, de charbon, de manganèse et de fer, en contact avec l'acide nitrique étendu, ont une plus grande intensité lorsque le point de conjonction des lames se retrouve entre le *galvanomètre* et le fer que lorsque ce point se retrouve entre le galvanomètre et le cuivre à chaine fermée.

29° Lorsque la chaine est ouverte dans le point de conjonction de la lame avec la spirale galvanométrique, l'intensité s'augmente lorsque le courant sortant du galvanomètre entre premièrement dans le cuivre et ensuite dans le fer.

30° Dans les deux cas cités nous avons, au contraire, un affaiblissement des courants, lorsque ceux-ci sont produits par l'ensevelissement dans la terre de l'étain, du plomb et même du fer, dans l'état ordinaire.

31° Disposant convenablement les quatre fils de l'appareil, soit pour allonger la chaine, soit pour en accroître la section en joignant entre elles les extrémités des fils, comme pour en former un seul faisceau, on observe que les courants telluriques, quoiqu'ils acquièrent de la force en allongeant les fils, en gagnent cependant davantage lorsqu'on en accroit la section, c'est-à-dire qu'il vaut mieux doubler, par exemple, la section en doublant le nombre des fils, et, en conséquence, les véhicules, au lieu d'un redoublement de longueur.

Ce résultat était à prévoir depuis que nous avons vu, par les expériences précédentes, la loi très rapide avec laquelle diminue l'in-

tensité du courant en s'éloignant de sa source, lorsqu'il parcourt une certaine longueur de fil.

Faits qui tendent plus particulièrement encore à rattacher la théorie physique de l'électricité au principe des vibrations.

Pour expliquer les phénomènes dont nous avons fait mention, comment l'équilibre électrique vient à se rompre, et comment un courant s'engendre, j'ai cru nécessaire de rappeler de nouveau l'idée des ondes, parce que, dans l'état actuel de nos connaissances, il est permis de penser que le système actuel des vibrations peut aussi donner la théorie physique de l'électricité, et conduire, du moins en partie, aux mêmes principes que pour la théorie de la lumière et du calorique rayonnant.

32° En plaçant trois fils assez courts de manière à conduire dans le même temps deux courants voltaïques inégaux, indépendants entre eux et avec force constante, sur deux galvanomètres séparés, ceux-ci marquent simultanément à index fixé les déviations mêmes qui se manifestent lorsque les circuits se ferment séparément. Et, dans ce cas, un conducteur même (le fil intermédiaire ou central) se trouvant avec le pôle de cuivre d'un rhéomoteur, et en même temps avec le pôle zinc d'un autre rhéomoteur, doit donner passage, c'est-à-dire doit servir de véhicule à deux courants simultanés, inégaux et contraires, sans une altération sensible, où il doit être doué d'une propriété qui puisse correspondre à cet office.

33° Si le pôle cuivre d'un couple voltaïque (à force constante et isolée) se joint avec un fil de métal très long qui, d'un côté, s'étend dans l'atmosphère, sans communication avec le sol, et si le pôle zinc du même couple se joint avec un autre fil qui s'étend également de l'autre côté, il se manifeste dans les deux fils deux courants vigoureux a force constante et en direction contraire l'un de l'autre, quoique le circuit ne soit pas fermé, ni qu'aucune partie du système ne se trouve en communication directe avec la terre, et qu'il n'y ait pas de contact métallique entre les deux plaques qui constituent les pôles du rhéomoteur. Le long des fils, l'intensité de ces courants varie avec la densité des pôles, selon la loi indiquée au second paragraphe.

Dans la dernière partie de l'ouvrage dont, comme je l'ai dit, je

prépare la publication, je me suis efforcé d'appliquer aux usages de la vie et de rendre profitable à l'industrie le pouvoir des courants telluriques.

NOUVELLES EXPÉRIENCES DE M. MATEUCCI.

M. Mateucci a été amené à étudier de nouveau dans des circonstances favorables la terre comme conducteur dans les télégraphes électriques. Voici la lettre qu'il écrivait à ce sujet à M. Arago, et qui a été insérée dans les *Comptes-rendus* du 12 mai 1845.

« J'espère que vous lirez avec quelque intérêt les nouvelles expériences que je viens de tenter encore une fois sur l'emploi de la terre comme conducteur télégraphique. Peut-être cette lettre vous arrivera-t-elle au moment où vous exécutez vos grandes expériences à Paris, et assez à propos pour faire sur une large échelle ce que je suis forcé de faire en petit. Les expériences de M. Magrini m'ont paru si extraordinaires et conduire à des résultats si nouveaux pour la science, que j'ai commencé par répéter ces expériences en employant pour l'isolement du fil tout le soin possible. J'ai de nouveau tiré mon fil de cuivre nº 8 du commerce, sur une des grandes routes du parc du grand-duc, près de Pise. Les pieux en bois sec avec lesquels je soutiens le fil ont été entièrement couverts de dix couches de vernis à l'essence de térébenthine, et laissés pendant plusieurs jours au soleil. Ces pieux sont fixés dans le sol à la distance de 8 à 10 mètres les uns des autres; il faut avoir soin de ne pas laisser ces pieux étendus par terre avant de les fixer. La longueur du fil que j'ai tendu était de 1,740 mètres. Chaque pieu étant haut de $1^m,50$, le fil est élevé au-dessus du sol au moins de 1 mètre. Il faut parcourir toute la ligne avant de commencer l'expérience, pour bien s'assurer que le fil n'est touché en aucun point par des corps plus ou moins conducteurs qui communiquent avec la terre. Pour m'assurer de l'isolement, j'ai fait une première expérience en interrompant le fil près d'une de ses extrémités, et en introduisant un galvanomètre et une pile de quatre éléments de Bunsen chargée avec de l'eau légèrement acidulée. Par excès de précaution, le galvanomètre et la pile posent sur une lame de verre couverte de vernis; le galvanomètre était à fil long et avec un système astatique parfait. C'est un galvanomètre de M. Rumkorf que j'emploie dans mes expé-

riences d'électricité animale; l'aiguille est restée parfaitement à zéro. En opérant à l'air, il faut mettre le galvanomètre à l'abri du vent; et, pour essayer l'isolement du fil, afin de ne pas donner des secousses au galvanomètre, il est bon de tenir le galvanomètre réuni au fil, et d'introduire ou d'enlever la pile, en faisant plonger dans le liquide ou en l'en retirant le dernier zinc soutenu par un zinc isolant. Du reste, quand on a tenté quelques expériences de ce genre, on s'habitue bientôt à toutes les précautions nécessaires, de quelque manière qu'on veuille la varier.

» L'isolement était donc parfait dans mon fil; en le faisant toucher par des mains bien essuyées en deux points différents entre lesquels se trouvent le galvanomètre et la pile, aussitôt l'aiguille était poussée vers 90 degrés. Dans une de mes expériences, on avait, par mégarde, jeté les pieux sur la terre, qui était encore un peu humide par la rosée, avant de les planter et de tendre le fil: il ne me fut plus possible d'avoir l'isolement. Après m'être assuré de l'isolement de mon fil de la manière décrite, j'ai ôté la pile en laissant le galvanomètre. A une des extrémités du fil, j'ai lié une plaque de zinc que j'ai descendue dans l'eau d'un fossé, jusqu'à la plonger entièrement, en la soutenant avec une corde. Je répète que, par excès de précaution, tout était isolé, c'est-à-dire que la portion du fil qui descendait dans l'eau ne touchait pas le sol avant d'arriver à l'eau, et que la plaque de zinc était soutenue par une ficelle isolante. On avait ainsi une plaque de zinc dans l'eau, réunie à un fil de cuivre long de 1,740 mètres, et parfaitement isolé du sol. Le galvanomètre faisait partie du fil conducteur et se trouvait placé à l'extrémité qui terminait avec la lame. Il y a des précautions à observer pour que l'expérience puisse être exacte: ainsi, si le fil qui communique avec la plaque est déjà réuni au galvanomètre, et si, en prenant l'autre bout du fil avec la main, on vient à toucher l'autre extrémité du galvanomètre, on a un courant qui dure pendant tout le temps que l'on tient ce bout de fil à la main. De cette manière, le circuit est complété avec l'eau, la terre, le corps de l'observateur, le fil de cuivre, le galvanomètre et la plaque de zinc. Le courant cesse aussitôt qu'on cesse de toucher le fil avec la main. Pour ne pas obtenir ce courant, il faut commencer par réunir le bout du long fil en cuivre, isolé avec une des extrémités

du galvanomètre, et puis réunir avec l'autre extrémité le fil qui va à la plaque. De même, on n'obtient aucune trace du courant en opérant de la première manière, en tenant le bout du long fil avec un manche isolant. Au lieu de la plaque de zinc, j'en ai mis une de fer, et puis une de cuivre, et puis une d'étain, et puis une d'argent. Jamais il n'y a aucune trace sensible du courant; il est donc bien prouvé qu'un fil de cuivre parfaitement isolé du sol; long de 1,740 mètres, et terminé à une extrémité dans l'air, et à l'autre avec une lame métallique quelconque plongée dans l'eau d'un puits ou d'un fossé, n'est jamais parcourue par un courant sensible au galvanomètre très délicat que j'ai décrit.

» J'ignore les modifications qui peuvent être apportées à ces conclusions en employant un fil long de plusieurs kilomètres, mais il me semble que l'on peut les prévoir. Dans la disposition précédente, on obtient tout de suite le courant, pourvu qu'un corps quelconque en communication avec le sol touche le fil: seulement, on voit l'intensité du courant varier avec la conductibilité du corps qui touche le fil. Je rapporterai ici un résultat qui me semble assez important pour guider l'expérimentateur. J'ai déjà cité le cas des pieux qui avaient été jetés sur le sol encore couvert de rosée; en employant ces pieux, on avait des signes de courant avec la disposition que j'ai décrite, c'est-à-dire avec la lame métallique plongée dans l'eau. Dans une autre expérience, l'isolement était parfait au commencement; puis, la pluie étant venue, l'isolement n'était plus parfait, comme on devait s'y attendre, et alors les signes du courant ont commencé et ont persisté. Voyons maintenant la direction du courant. Lorsque c'est une plaque de zinc ou de fer, ou d'étain qui plonge dans l'eau, le courant est dirigé de manière à entrer dans le galvanomètre du long fil, c'est-à-dire qu'il va comme il doit aller, du zinc à l'eau, à la terre, au fil par les pieux mouillés, comme il entre dans le fil par le corps de l'observateur, quand on fait l'expérience avec le fil isolé. En employant une lame d'argent plongée dans l'eau, le courant a la direction contraire, c'est-à-dire qu'il entre dans le galvanomètre par le fil qui est réuni à la lame d'argent. Il est clair que, dans ce cas, c'est le fil de cuivre qui est attaqué par l'eau qui mouille les pieux, et qui va de là au sol, à l'eau, à la lame d'argent. On peut faire très bien

cette expérience lorsque le fil est parfaitement isolé. Qu'on ait une lame en argent ou en platine plongée dans l'eau, et qu'on touche le fil avec les mains mouillées d'eau pure, ou légèrement salée, alors le courant sera dirigé, comme précédemment, du fil de cuivre à l'observateur, au sol, à l'eau, à la lame d'argent. Tous ces résultats sont parfaitement simples, faciles à prévoir du reste, et d'accord avec nos connaissances. Enfin, voici ce qu'on obtient quand c'est une plaque de cuivre qui plonge dans l'eau, soit avec les pieux mouillés, soit en touchant le fil avec la main : les fils du courant sont très faibles; mais on peut dire que la direction du courant est toujours comme si le fil, au lieu de la plaque, était attaqué par le liquide. En opérant avec le fil parfaitement isolé, et en le touchant avec la main mouillée d'eau, légèrement acidulée, le courant est fort et dirigé du fil à la main, ainsi que cela doit être. Pour s'expliquer le cas des pieux mouillés, il faut donc admettre qu'il y a plus de surface de cuivre en contact avec le liquide dans la somme des points du fil qui touche les pieux, qu'il n'y en a dans la lame qui plonge dans l'eau, ce qui est bien possible dans mon cas, car je n'avais pour toutes mes lames qu'un demi-mètre carré de surface.

» Venons maintenant à une autre expérience très simple, et qui semble aussi très importante pour la télégraphie électrique. Mon fil, long de 1,740 mètres, parfaitement isolé, est terminé par deux lames en fer-blanc plongées dans l'eau de deux fossés, qui sont à la distance à peu près de la longueur du fil; les deux fossés ne communiquent pas directement ensemble. J'avais dans le circuit une pile de quatre couples de Bunsen, et le galvanomètre comparable de Nobili. Dans une première expérience, la pile et le galvanomètre étaient à côté l'un de l'autre, à une des extrémités du fil; dans une seconde expérience, la pile est restée en place, et le galvanomètre a été porté à l'autre extrémité. L'aiguille s'est fixée à 27 degrés exactement dans les deux cas, ce qui prouve le parfait isolement du fil. Alors j'ai fait enlever tous les pieux, et le fil a été étendu dans toute sa longueur sur la terre couverte de gazon. L'aiguille du galvanomètre s'est fixée également à 27 degrés, comme précédemment, soit que le galvanomètre fût à côté de la pile, soit qu'il fût à l'autre extrémité. On voit donc que l'isolement a été parfaitement inutile dans cette expérience, et que le courant a été transmis de la même

manière par le circuit mixte, soit que le fil en cuivre fût isolé, soit qu'il ne le fût pas. Il ne faut pas croire pour cela que la chose fût la même avec des circuits plus longs, comme je l'ai déjà trouvé dans mes autres expériences, et dans des localités dans lesquelles le terrain était moins humide.

» Peut-être suffirait-il pour certaines longueurs, ne voulant pas isoler le fil, de l'employer d'un diamètre plus grand. Ce qui est certain et ce qui résulte de mes premières expériences, de celles faites à Milan, de la plus grande, faite dernièrement en Angleterre à la distance de 88 milles avec plusieurs milles en terre, et de la dernière expérience que je viens de rapporter, c'est que la résistance d'un circuit mixte, fil et terre, est moindre que celle du circuit de la même longueur tout en fil de cuivre. Cela n'empêche pas qu'en faisant une suite d'expériences dans lesquelles on introduit des longueurs très grandes et variables de terre, il est possible qu'on parvienne à trouver la résistance de la terre, ce que je n'ai pas trouvé en opérant sur des longueurs qui n'ont pas dépassé 2,000 mètres. M. Magrini, en opérant sur des longueurs de plusieurs kilomètres, a trouvé cette résistance, et il donne, pour l'équivalent de 1 kilomètre de terre, 273 mètres de son fil en cuivre; mais il serait à désirer que ces expériences fussent répétées et que les conclusions fussent déduites de différences plus grandes dans les déviations de l'aiguille du galvanomètre. En effet, je trouve décrites dans le mémoire, en italien, de M. Magrini, les expériences suivantes. Son circuit était composé de 4 kilomètres de fil, et de 1 kilomètre de terre, et puis de 2, de 3 et, enfin, de 4 kilomètres de terre. Les déviations moyennes qu'il rapporte dans ce mémoire sont les suivantes: 22 5/8, 21 11/16, 21, 20. Je ne sache pas qu'en lisant le galvanomètre on puisse répondre d'une fraction de degré lorsque l'aiguille, même sur le cadran ordinaire, a un diamètre plus grand que l'intervalle de 1 degré. Je persiste donc, jusqu'à ce que de nouvelles expériences m'aient fait changer d'opinion, à regarder la résistance de la terre pour le courant électrique comme nulle ou presque nulle, excepté celle que l'on rencontre au premier passage ou changement de conducteur, qui est constante, quelle que soit la distance entre les deux points. Le résultat singulier auquel j'étais parvenu l'an passé, c'est-à-dire que dans un circuit mixte, fil et terre,

dans lequel il y a au moins 2,000 mètres de terre, la résistance serait moindre que celle due au seul fil de cuivre, a été vérifié de nouveau dans la même localité; je l'ai trouvé, et je le trouve si singulier, que j'invoque encore de nouvelles expériences à ce sujet. Il est bien possible que l'effet soit dû à un faible courant qui persiste toujours, développé par les deux lames extrêmes, et qui circule avec celui de la pile.

» Venons enfin aux essais que j'ai tentés pour établir une télégraphie électrique entre deux points séparés entre eux par la mer, comme serait, par exemple, le cas de Douvres à Calais. Il est impossible d'imaginer seulement de tendre en l'air un fil de cuivre à cette distance; je crois la chose possible, quoique immensément difficile, si on laisse aller le fil dans l'eau. J'ai fait, à travers l'Arno, une expérience à la vérité comparativement très petite, mais cependant du même genre. Je choisis deux puits aux deux bords de l'Arno; une lame métallique plonge dans l'eau de chaque puits et est réunie à un fil en cuivre qui arrive isolé jusqu'au point où il plonge dans l'eau. Je me tiens sur un des bords avec un galvanomètre introduit dans le fil, et j'ai un faible courant développé entre la lame et le fil qui plonge dans la rivière; je fais introduire la pile de quatre éléments de Bunsen dans le fil du bord opposé, et à l'instant l'aiguille est poussée à 90 degrés. Il est donc évident qu'au moins une partie du courant circule dans le fil de cuivre plongé dans la rivière, et revient par le sol interposé entre les deux points. Dans une autre expérience, une pile de Faraday de quinze éléments est plongée au milieu de la rivière, et ses deux pôles extrêmes sont réunis avec deux fils aux lames qui plongent dans les deux puits. Lorsque la pile ne plonge pas dans la rivière, le galvanomètre indique un faible courant dont nous connaissons l'origine. Quand la pile est plongée, l'aiguille va à 90 degrés, et toujours le circuit se complète par la terre comprise entre les deux points.

» Si l'on voulait étendre ces résultats au cas de Douvres à Calais, des difficultés énormes se présenteraient, mais les deux grandes nations que la Manche sépare savent bien en vaincre d'autres. Je dois ajouter aussi que mes expériences sont faites dans des conditions très défavorables, et je mettrai en première ligne la communication directe entre l'eau de mes puits et celle de la rivière.

Enfin, je veux vous communiquer encore un projet qui présente moins de difficultés que le précédent, mais qui a aussi, du moins en apparence, beaucoup moins de chances de succès. Imaginez deux arcs métalliques, isolés du sol, et les extrémités de chacun de ces arcs terminées par de grandes plaques métalliques. Les deux plaques les plus rapprochées de ces deux arcs plongent dans le même liquide, qui peut être l'eau d'un bassin, une rivière ou la mer; les deux autres plaques plongent dans l'eau de deux puits, ou sont couchés sur le sol; enfin, l'un des arcs est interrompu par la pile, l'autre par un galvanomètre qui en fait partie. J'ai fait l'expérience dans un bassin de 3 metres de diamètre, et l'expérience a réussi, c'est-à-dire qu'en fermant le circuit de la pile, l'aiguille est allée à 90 degrés, et le circuit se faisait évidemment à travers l'eau du bassin d'une part, et le sol de l'autre. Evidemment, pour que cela réussisse, il faut imaginer qu'entre les deux lames du même arc, interrompu par la pile, la résistance soit plus grande que celle de toute la couche de la terre qui sépare les deux points. C'était bien le cas de mon bassin, qui n'était pas profond et qui n'était pas bâti en briques. L'expérience a manqué quand, au lieu du bassin, j'ai interposé le fleuve de l'Arno. Concluons-nous, d'après cela, qu'il serait impossible que cela réussît à travers la mer? Je n'oserai pas l'assurer d'une manière absolue. Imaginez donc deux puits à une assez grande distance des bords de la mer, séparés même de ses bords par une chaine de montagnes, si cela est possible; faites ces puits très profonds, entourez-les jusqu'en bas par des briques presque isolantes, ayez égard à la bonne conductibilité de l'eau de la mer, et, si je ne me fais pas une énorme illusion en ce moment, il me semble permis de concevoir quelque espoir.

» Ce n'est qu'à raison de la grandeur du résultat que l'on obtiendrait que j'ai la confiance d'être excusé, par vous et par le monde savant, d'avoir rendu public un projet qui a bien les apparences d'un rêve, mais que je désire de tout mon cœur voir se réaliser. »

Chargé de suivre l'exécution du télégraphe électrique de Paris à Rouen, M. Bréguet fils a fait une série d'observations importantes sur l'intensité du courant électrique parcourant les fils de cuivre et de fer placés sur la ligne. Il employa d'abord la pile dite de Da-

niel, à sulfate de cuivre, et la remplaça plus tard par celle de Bunsen, qui, avec un plus petit nombre d'élémeuts, présente une intensité suffisante.

Voici comment on procédait : Une pile étant à Paris, l'un de ses pôles communiquait avec la terre, au moyen d'un fil terminé par une large plaque plongée dans un puits ; l'autre pôle communiquait au fil de la ligne, et l'extrémité de celui-ci, à Rouen, plongeait de même dans un puits ; ainsi, dans ce cas, le circuit était formé moitié par la terre et moitié par le fil. On se procurait aussi à volonté un circuit tout métallique avec les fils de cuivre, dont chaque extrémité, à Paris, était unie à un des pôles de la pile, pendant qu'à Rouen les deux extrémités étaient réunies ensemble.

Des opérations semblables étaient faites à Rouen, où une pile avait été également placée.

M. Bréguet avait construit deux boussoles des sinus ; elles étaient bien comparées, et l'on pouvait répondre de leur exactitude à quelques minutes près. Le courant, soit qu'il partit de Paris ou de Rouen, traversait en même temps les deux boussoles. M. Bréguet a ainsi mesuré, dans vingt-huit expériences, les intensités du courant à Paris et à Rouen, quand un courant traversait le fil de cuivre et la terre, deux fils de cuivre réunis, un fil de fer et la terre. Il a de plus calculé les rapports d'intensité du même courant au même moment pour les deux stations extrêmes, et constaté que ces rapports restent sensiblement les mêmes, quels que soient l'état de l'atmosphère et le nombre des éléments.

Une étude approfondie de la théorie d'Ampère nous avait amené irrésistiblement à affirmer :

1° Que si les deux extrémités du fil conducteur sont plongées dan la terre, le courant sera tout aussi bien établi qu'avec un circuit métallique fermé ;

2° Que l'intensité du courant, dans le premier cas, c'est-à-dire quand la moitié du conducteur est remplacée par la terre, doit être double de ce qu'elle serait si le courant revenait par un second fil égal au premier. Or, les expériences de M. Bréguet confirment pleinement ces prévisions théoriques. Si l'on prend, en effet, la moyenne de ses expériences, on trouve pour l'intensité, à Paris, du

courant transmis par un fil de cuivre et la terre 56,8, par un double fil de cuivre 29,1 ; or, ce dernier nombre est sensiblement la moitié du premier. A Rouen, ces mêmes intensités moyennes étaient respectivement 35,5 et 17,8, et leur rapport est encore sensiblement égal à 2. Il y a dans les deux cas une petite différence, le second nombre est toujours un peu plus grand que la moitié du premier, et cela devait être ; car, quand le courant revenait par la terre, les fils de cuivre s'allongeaient des deux portions qui allaient aboutir aux plaques plongées dans le sol, et créaient une résistance dont il faut tenir compte.

Voilà donc un phénomène bien précis et vraiment frappant : quand on interpose la terre dans le circuit, l'intensité du courant est doublée tout à coup, et cela quelle que soit la substance du fil conducteur, et quelle que soit la nature du sol entre les deux stations. Si M. Bréguet avait eu à sa disposition un double fil de fer, ou s'il avait expérimenté dans les terrains primitifs des Alpes, il aurait obtenu le même résultat, et du tableau où il a enregistré les intensités du courant, terre et fer, on pourrait conclure celles d'un double circuit de fer. Exprimé sous la forme que nous venons de lui donner, ce fait, mal désigné sous le nom de conductibilité de la terre, paraît tellement paradoxal, qu'aucun des savants physiciens auxquels nous en avons parlé, en Angleterre ou en Allemagne ne voulait y croire; il n'a rien moins fallu, pour le leur faire admettre, que l'évidence des chiffres donnés par M. Bréguet.

Tout se passe donc, quand une masse énorme de terre fait partie du courant, comme si cette masse n'existait pas; comme si le fil métallique, dont les deux extrémités plongent dans le sol, était seul parcouru par le courant. On crut tout d'abord expliquer suffisamment ce résultat inattendu, en disant simplement que la terre, dans ces circonstances, est un conducteur dont la section est infinie, et qui n'oppose absolument aucune résistance au passage du courant. Mais cette explication, nous en avons la conviction intime n'est qu'apparente, et il faut pénétrer plus avant dans l'essence du mystère : approfondissons-le. Voudrait-on croire qu'à l'extrémité du conducteur métallique le courant se continue ; que la quantité finie, appréciable de fluide électrique, qui est parvenue à cette extrémité, va décomposant de proche en proche toute la masse

de fluide neutre comprise dans le globe, et qu'après une série de décompositions opérées entre les deux stations, la molécule libre de fluide positif ou négatif retrouve enfin la seconde extrémité du fil, ou la seconde plaque, et revient ainsi au second pôle de la pile pour s'y faire neutraliser?

On pourrait nommer des savants de premier ordre que cette hypothèse n'effraie pas, qui affirment hardiment qu'il suffit de plonger dans la terre les extrémités d'un circuit voltaïque pour que toute la masse de fluide neutre qu'elle contient soit décomposée, de telle sorte qu'on puisse même mettre en évidence, entre deux points quelconques, l'électricité devenue libre. Nous admettons pour notre compte que cette supposition est vraiment insoutenable. Non, la terre ne fait pas proprement l'office de conducteur; non, le courant ne s'étend pas de proche en proche à travers les 100 kilomètres et plus qui séparent les stations de Paris et de Rouen. Dans les conditions où le phénomène apparaît, c'est-à-dire de telle sorte que son intensité ne dépende en aucune manière de la constitution du sol, cette transmission serait la négation des lois éternelles de la nature, du double principe immuable de la proportionnalité des forces aux masses, et de la conservation des forces vives. Que se passe-t-il donc? Essayons de l'expliquer.

Pour cela, rappelons d'abord la théorie si nette de notre immortel Ampère : représentons-nous les deux pôles d'une pile unis par un conducteur métallique, et disons comment s'établit le courant qui part du pôle positif. L'électricité libre à ce pôle, mise en présence de la résistance que le fil conducteur oppose à son écoulement, décompose l'électricité neutre ou composée de la première molécule du conducteur, attire la molécule négative, et repousse la molécule positive. Cette molécule positive, à son tour, décompose l'électricité neutre de la molécule suivante, attire la molécule négative, repousse la positive, etc., etc. La décomposition s'étend ainsi de proche en proche, jusqu'à ce qu'enfin une dernière molécule positive, mise en liberté ou repoussée jusqu'au second pôle de la pile, soit neutralisée par l'électricité négative qui en émane. Aussitôt, à la série primitive de décomposition, succède une seconde série de recomposition. La dernière molécule négative, délivrée de la molécule positive neutralisée par le pôle négatif, re-

devient libre, puis se combine avec la molécule positive qui la précède et qui l'avait attirée ; l'avant-dernière molécule négative, libre à son tour, se combine en retour avec la molécule positive antécédente, et ainsi de suite de proche en proche, etc., etc. Voilà comment s'établit dans les idées si ingénieuses d'Ampère ce qu'on désigne sous le nom de courant électrique.

Mais admettons maintenant que nous brisions le circuit métallique à son milieu, entre deux molécules libres, l'une positive, du côté du pôle positif ; l'autre négative, du côté du pôle négatif ; puis mettons ces deux extrémités, et par conséquent ces deux molécules, en communication avec la terre, que va-t-il arriver? La molécule positive est en contact avec un énorme réservoir, où elle peut s'écouler sans résistance aucune, et qui par conséquent ne peut lui opposer aucune réaction : cette molécule dès lors ne pourra exercer aucune action de décomposition, elle sera simplement absorbée. Mais aussitôt la molécule négative précédente, redevenue libre, va se combiner avec la molécule positive voisine, etc. : ce qui se passe du côté du pôle positif arrive aussi du côté du pôle négatif ; il y aura donc encore cette fois une double série de décomposition et de recomposition. Mais la série ne s'établit que dans la moitié du circuit métallique dont nous avons parlé, et le courant n'a subi cette fois que la résistance correspondant à cette moitié du circuit ; par suite son intensité serait double de ce qu'elle était d'abord. Donc, en général, quelle que soit la nature du fil conducteur, si l'on remplace la moitié de ce fil par la terre, le courant subsistera sans que l'énorme masse de fluide neutre que la terre renferme dans son sein ait besoin de subir les décompositions et recompositions qui s'opéreront seulement dans le conducteur métallique.

Voilà précisément ce qui arrive sur les lignes télégraphiques. Vous aviez deux fils parallèles, égaux, en communication à la station de départ avec les deux pôles de la pile, unis à la station d'arrivée par un troisième fil que nous supposerons, pour fixer les idées, être leur plus courte distance ; le courant était établi ; il allait de Paris à Rouen, et revenait de Rouen à Paris ; il avait à Paris une certaine intensité mesurée, par exemple, comme dans une des expériences de M. Bréguet, par 37° de la boussole des sinus ; à Rouen son intensité était de 15°. Vous supprimez le second fil, vous prolongez jusqu'au

sol la plus courte distance des deux fils, vous mettez aussi en communication avec la terre la première extrémité un peu prolongée du premier fil, le courant subsiste; mais son intensité a passé subitement, ou dans un instant inappréciable, du simple au double: elle sera à Paris de 73°, à Rouen de 29°; nous avons dit pourquoi les intensités ne sont pas rigoureusement 74° et 30°.

Quel est donc simplement le rôle admirable de la terre? A-t-elle été canal ou conducteur? A-t-elle subi dans toute la masse de son fluide neutre une suite de décompositions et de recompositions? Non, certainement non; mais elle a été un réservoir, un puisard où, d'un côté l'électricité positive, l'électricité négative de l'autre, sont allées se perdre, ont été absorbées. Nous avons proposé d'abord, avec timidité, cette explication d'un phénomène véritablement surprenant; nos craintes se sont complétement évanouies, depuis que nous avons appris à Gœttingue, de la bouche même de l'illustre Gauss, que ces idées lui étaient depuis longtemps familières, et qu'il les exprimait de la même manière que nous: il a toujours vu dans la terre, non un conducteur, mais un absorbant de l'électricité. L'électricité à ses yeux est non conduite par la terre, mais bue, *eingezogen*. Aux pôles de la pile, nous disait-il dans notre langue, qu'il parle très correctement, se fait la production, par les plaques enfouies se fait la dépense. Et qu'on le remarque bien, cette explication toute naturelle dans l'hypothèse des deux fluides, est presque plus facile à concevoir encore dans la théorie d'un seul fluide, en excès au pôle positif de la pile, en défaut au pôle négatif. D'autres savants distingués ont partagé depuis les mêmes convictions; ils admettent de plus, avec M. Gauss, que si les extrémités d'un fil conducteur unique, au lieu d'être plongées dans le sol, se terminaient à deux globes semblables à notre terre, mais entièrement isolés dans l'espace, le courant existerait encore avec son intensité double. Évidemment, dans la situation où nous les plaçons, les deux globes ne feraient pas l'office de conducteurs, puisque nous les supposons séparés l'un de l'autre par une immense étendue de substance isolante, mais bien l'office de réservoirs. M. Wheastone nous a assuré avoir lu quelque part, dans un des ouvrages de Deluc, que le savant Genévois disait en termes formels, qu'un fil conducteur qui unirait la terre à la lune serait

sans cesse parcouru par un courant électrique. Reste donc à aller fixer l'extrémité de ce merveilleux fil sur notre satellite, pour que les êtres qui l'habitent, en supposant qu'ils existent et qu'ils soient intelligents, puissent correspondre avec nous dans un instant indivisible. On aurait cependant à craindre, nous disait M. Gauss en riant, que la lune fût trop aride et trop sèche, car les bassins que nous appelons ses mers, dans notre langage borné, sont loin d'être des réservoirs d'eau.

Nous étions si convaincu de la possibilité d'établir un courant avec un seul conducteur dont les extrémités plongeraient dans deux réservoirs parfaitement isolés, que nous avons voulu le prouver par une expérience décisive. M. le professeur Van Reess, d'Utrecht, voulut bien nous aider et mettre à notre disposition ses excellents instruments. Quoique cet essai n'ait point réussi, nous le raconterons, en priant les savants qui se sont occupés spécialement de ces recherches de le répéter sur une échelle assez vaste.

Sur deux gâteaux de résine nous avons placé deux vases de verre pouvant contenir à peu près trois décimètres cubes d'eau ; aux deux pôles d'une pile excessivement faible, formée de deux fils, l'un de cuivre, l'autre de zinc, amenés au contact et plongeant dans de l'eau distillée, nous avons fixé deux fils de cuivre dont les extrémités terminées par des plaques, plongeaient dans deux vases. Un galvanomètre très sensible faisait aussi partie du circuit. Nous avions espéré qu'en remplissant peu à peu les deux vases, nous arriverions au point où les deux volumes d'eau acidulée feraient la fonction de réservoirs, et qu'à ce moment nous verrions naître le courant. Il n'en a rien été. La capacité de nos vases était beaucoup trop petite ; mais nous persistons à croire, avec M. Gauss, qu'avec des vases beaucoup plus grands, ou avec un grand nombre de vases communiquant ensemble, on verra enfin se réaliser le curieux phénomène d'un courant électrique circulant entre deux réservoirs complétement isolés ; phénomène qui, nous n'en doutons pas, se produit actuellement et dans des proportions gigantesques sur toutes les lignes de télégraphes électriques qui n'ont qu'un fil. Beaucoup de physiciens peut-être ne seront pas de notre avis. Une note insérée dans les *Comptes-rendus de l'Académie*, séance du 12 janvier 1845, nous prouve trop que M. Matteucci voudrait dé-

montrer la thèse contradictoire de la nôtre. Deux hypothèses, dit-il, ont été mises en avant : Faut-il regarder la terre comme tout autre corps conducteur, qui, par son grand volume, peut suppléer à sa mauvaise conductibilité? ou bien faut-il admettre que les deux charges électriques, libres aux extrémités de la pile, trouvent toujours à se répandre dans la terre qui, réservoir universel, parvient à neutraliser ces charges sans que son fluide naturel soit décomposé par les fluides libres de la pile? Voici par quelles expériences M. Matteucci prétend démontrer la vérité de la première hypothèse. Nous le laisserons parler. « J'ai établi le circuit d'une pile de dix éléments de Bunsen, en faisant plonger les deux pôles dans deux puits, qui étaient à 160 mètres de distance. Un galvanomètre était dans le circuit, pour être sûr du passage du courant. Dans cet intervalle se trouvaient deux autres puits, à peu près en ligne droite avec les puits extrêmes. La distance entre ces deux puits était de 30 mètres; ils étaient éloignés des deux puits extrêmes l'un de 80 mètres, l'autre de 50. J'ai fait plonger les extrémités d'un bon galvanomètre de fil long dans les deux puits intermédiaires : ces extrémités étaient ou en argent, ou en platine; j'ai attendu que l'aiguille du galvanomètre revînt à zéro. Alors j'ai fait passer le courant dans le grand circuit; à l'instant j'ai obtenu une déviation de 35 à 40 degrés. J'ai repété l'expérience après avoir renversé la direction du courant de la pile dans le grand circuit : aussitôt la direction du courant, que j'appellerai désormais dérivé, s'est renversée aussi. Je m'étais bien assuré d'avance du parfait isolement de mes deux circuits.

» Enfin j'ai répété ces expériences en réduisant l'intervalle de déviation à la longueur d'un mètre, c'est-à-dire en plongeant les extrémités du galvanomètre dans le même puits. Dans ce cas, en fermant le circuit de la pile, je n'ai obtenu qu'une déviation de 3 ou 4 degrés, mais qui s'est aussi renversée en changeant la direction du courant de la pile.

» Il est donc bien prouvé que les courants obtenus dans le circuit intermédiaire étaient des courants dérivés. Or cela devait être, en admettant que le courant électrique se transmît dans la terre à la manière ordinaire, tandis qu'on ne peut pas le concevoir dans l'autre hypothèse.

» Il est clair que la neutralisation de deux fluides libres aux ex-

trémités de la pile ne devrait pas troubler uniquement les fluides naturels de la masse terrestre interposée entre ces extrémités, mais que cela se ferait en tous les sens autour de ces extrémités. Si l'on réduit la neutralisation des deux électricités dans la masse de la terre interposée, s'opérant successivement de molécule à molécule, on admet alors l'hypothèse que nous faisons toujours pour la propagation des courants électriques. »

Nous ne craignons pas de dire que M. Matteucci s'est trompé, que son expérience a été mal faite, et que l'on ne peut en rien conclure. La présence constatée du courant dérivé prouve peut-être que dans les conditions où s'était placé M. Matteucci, la terre n'était en effet qu'un conducteur ordinaire; qu'il y avait entre les puits extrêmes échange réel d'électricité, une sorte de radiation double qu'il a saisie au passage dans les deux puits intermédiaires. Il n'en pouvait guère être autrement; mais, qu'on le remarque bien, ces conditions n'ont rien de commun avec ce qui a réellement lieu entre Paris et Rouen. Chez M. Matteucci la pile est relativement très forte, la distance des deux puits est très petite: 160 mètres ce n'est pas grand'chose, et la conductibilité connue de la terre ne permettait pas de supposer un instant qu'elle pût isoler les deux extrémités des piles. Au lieu d'interposer immédiatement la terre il devait d'abord et avant tout fermer le courant par un fil de même grosseur et de même longueur que les deux premiers fils, mesurer l'intensité du courant, remplacer ensuite le second fil par la terre, mesurer encore l'intensité, s'assurer si elle était bien double de ce qu'elle était d'abord, comme dans les expériences de Paris et Rouen, de Londres à Southampton, de Munich, de Saint-Pétersbourg, etc. Si toutes ces précautions avaient été prises, si l'intensité double avait été mise en évidence, on aurait pu alors procéder à la recherche du courant intermédiaire; et si le courant avait apparu dans les circonstances que nous venons d'énumérer, la vérité de la première théorie serait peut-être établie. Nous disons peut-être, car il est encore, dans les expériences de M. Matteucci, une circonstance inexplicable: pourquoi ce courant dérivé diminuait-il si considérablement, quand on réduisait l'intervalle de dérivation? Il y a plus: M. Poggendorff remarque avec raison que l'expérience de M. Matteucci se contredit elle-même, ou mieux, nie la

théorie qu'elle devait soutenir. En effet, si la résistance de la terre est nulle, comment pourra-t-on jamais comprendre que le courant transmis par la terre puisse jamais vaincre la résistance considérable opposée par le long fil du galvanomètre de M. Matteucci? Il y a contradiction dans les termes : si, comme on le veut, la terre en raison de sa grande section est un conducteur infiniment parfait, le courant qu'elle transmet ne pourra jamais être dérivé; cela est évident : donc si M. Matteucci a constaté réellement le courant dérivé, c'est que la terre, dans les conditions où il s'est placé, n'agissait, par les raisons que nous avons dites, que comme un conducteur ordinaire et imparfait.

Nous persistons donc à soutenir, qu'en complétant le circuit sur les longues lignes télégraphiques, la terre agit non comme conducteur, mais comme réservoir, suçant et absorbant aux deux extrémités du fil les électricités libres que la pile ou l'appareil électro-magnétique y envoient. Non, à un intervalle aussi énorme que celui de Paris à Rouen, la terre ne fait pas l'office de conducteur; la molécule positive, partie de Rouen, ne peut pas, à travers mille obstacles, aller chercher la molécule négative, qui l'attendait à Paris, pour la neutraliser; il n'y a pas de courant là où la résistance est nulle, et la résistance est nulle là où l'intensité du courant est doublée. En outre donc de ce que le courant ne s'établirait pas si la terre, agissant comme conducteur, ne présentait aucune résistance, l'intensité du courant varierait dans des limites assez étendues avec la résistance de la pile; elle ne serait pas toujours doublée, et c'est ce qui a lieu cependant, comme le prouvent les expériences de M. Bréguet.

Il y aurait deux moyens de vider complétement le débat : au lieu de placer tout d'abord les deux piles à une très grande distance, à Paris et à Rouen, par exemple, il faudrait s'éloigner graduellement, aller de station en station, fermer tour à tour le courant pour chaque station, soit par un double fil de cuivre, soit par un fil et la terre, et mesurer les intensités dans ces deux cas. On s'assurerait de cette manière : 1° que, lorsque la distance des piles est petite relativement à leur intensité, le courant ramené par la terre, agissant alors comme conducteur, n'a pas une intensité double; 2° que ce passage du simple au double a lieu à une certaine dis-

tance variable avec l'intensité des piles : c'est à cette distance seulement que la terre, cessant d'agir comme conducteur, fait les fonctions de réservoir.

Mais le moyen le plus certain de dissiper jusqu'à l'ombre du doute, ce serait de faire réussir notre expérience d'Utrecht, c'est-à-dire d'établir un courant entre deux réservoirs parfaitement isolés. Nous ne rappellerons pas l'essai que nous fîmes avec M. Van Reess, sans rendre hommage à un artiste éminent. La sensibilité du galvanomètre dont nous nous servions, et qui avait été construit par M. Becker, d'Arnheim (Prusse), tenait vraiment du prodige : le courant imperceptible, né du contact des deux fils plongés dans l'eau distillée, après avoir traversé deux longs fils de cuivre et les corps de deux hommes, après avoir été ramené par la terre sur une étendue de 10 mètres, donnait une déviation de 10 degrés ; l'aiguille, dans tous les cas, revenait parfaitement au point zéro.

Nous avons, il nous semble, exposé avec assez de détails ce qui concerne la théorie de la télégraphie électrique ; nous allons aborder et achever la partie descriptive, ou l'explication raisonnée des planches qui représentent les divers appareils inventés en Angleterre, en Amérique, en Allemagne, en France, etc. L'intérêt, nous l'espérons, sera plus grand encore, puisqu'il s'agira de réduire en pratique le plus merveilleux des arts.

A propos de la conductibilité de la terre, rectifions un fait important. Après avoir discuté les titres de M. Bain, nous avions cru qu'il avait constaté le premier la présence d'un courant dans un simple fil terminé par deux plaques, l'une de cuivre, l'autre de zinc, plongées toutes deux dans la terre : même sur ce point nous lui avons trop accordé ; l'honneur de cette belle expérience appartient à l'illustre directeur de l'Observatoire de Goettingue, à M. Gauss ; il la fit en 1835, plus de deux ans avant M. Bain, sur une longueur d'un kilomètre environ. L'une des plaques plongeait dans la cour du cabinet de physique, l'autre dans les jardins de l'Observatoire ; le fil conducteur passait par dessus les toits. Nous avons vu, à Munich, la lettre autographe par laquelle M. Gauss annonçait à M. Steinheil ce résultat vraiment curieux : nous sommes heureux d'ajouter ce nouveau fleuron à la couronne d'un homme qui a fait faire aux sciences mathématiques tant de pas de

géant; qui, avec M. Weber, a le premier, en 1833, transmis réellement, au moyen des courants électriques, des mots et des phrases entières à une distance très considérable.

M. Wail, en 1844, a reconnu accidentellement que peut-être on arrivera à se passer complétement de pile ou d'appareil électro-magnétique, et que la force électro-motrice de la terre suffira à la transmission et à l'impression des dépêches. Dans la première expérience qu'il fit, on mit dans la terre une planche de cuivre, et à environ 300 mètres de cette planche, on en enterra une autre de zinc. A chacune de ces planches était soudé un fil, dont les extrémités aboutissaient dans la salle du télégraphe : on trouva que la plume qui écrit les dépêches était mise en mouvement et pouvait fonctionner sans pile. Cela conduisit à une expérience sur une plus grande échelle, et qui ne consistait en rien moins qu'à placer la plaque de cuivre à Washington, et la plaque de zinc à Baltimore, avec un seul fil unissant les deux points; la pile était complétement mise de côté. Le succès justifia l'expérience ; quoique l'effet fût moindre, en recourant à un appareil plus délicat, la plume du registre opéra admirablement.

La terre peut donc, par son contact avec des plaques métalliques, engendrer perpétuellement un courant électrique, le porter à de très grandes distances, et produire, à ces distances, les effets mécaniques nécessaires à la transmission et à l'impression des dépêches. Réduite à cette simplicité extrême, la télégraphie électrique tient vraiment du prodige.

On vient de voir que la théorie d'Ampère conduisait à une explication facile et complète de ce fait éclatant, que l'intensité du courant électrique se trouve doublée quand la moitié du fil conducteur est remplacée par la terre. Une bonne fortune nous a mis en possession, depuis plus de vingt-cinq ans, du mémoire dans lequel Ampère avait exposé l'ensemble de ses idées sur le mode de transmission des courants électriques et la théorie électro-chimique. Nous croyons que ce mémoire n'a jamais été imprimé ; et il nous a semblé qu'il formerait un appendice curieux à nos recherches sur la télégraphie électrique; nous le donnons donc ici à nos lecteurs, tel qu'il fut écrit sous la dictée de l'immortel physicien.

Quelques hommes éminents, dans ces dernières années, ont été

fatalement amenés à révoquer en doute les principes incontestables de l'électro-chimie. Les motifs de cette lutte acharnée sont peu dignes, avouons-le, d'un esprit philosophique : ce fut une sorte de découragement produit par la difficulté d'expliquer quelques phénomènes délicats de substitution. Nous comprenons qu'en présence de faits nouveaux et imprévus, on se soit cru obligé d'énoncer un principe additionnel, d'accorder à la forme des molécules une part importante dans leurs groupements, de ne pas faire dépendre uniquement les combinaisons de l'état électrique des molécules qui s'unissent ; mais que par une exagération inconsidérée on vienne à renverser brutalement la doctrine la plus certaine et la plus féconde qu'il ait été donné à l'esprit humain de formuler, nous ne le comprendrons jamais. On a pu trop étendre la théorie électro-chimique, on a pu en faire de malheureuses applications, mais elle est certainement vraie au fond, et elle ne peut être remplacée par rien, et elle survivra aux attaques téméraires dont elle a été l'objet. Nous sommes heureux de pouvoir reproduire les pages profondes qu'Ampère consacra à l'exposition de ces grandes lois, mieux conçues et mieux énoncées par lui que par tous les savants contemporains.

Sur le mode de transmission des courants électriques et la théorie électro-chimique, par M. André-Marie Ampère.

Le fait de la décomposition des corps composés par l'action de la pile voltaïque a donné lieu de soupçonner que l'électricité joue un grand rôle dans les combinaisons chimiques. Je me propose ici de déduire la théorie électro-chimique des principes que j'ai suivis dans mon cours au collége de France.

Je transporterai aux molécules des corps les forces électriques dont l'effet a été observé sur des corps d'un volume fini : je tâcherai de suivre, autant que possible, les conséquences de cette hypothèse pour les comparer avec l'expérience qui seule peut la détruire ou la confirmer.

Si donc nous admettons que les particules des corps soient naturellement dans un état électrique permanent, il résulte de l'ensemble des faits observés que nous devons regarder comme électro-

négatifs, c'est-à-dire comme renfermant par leur nature une quantité plus ou moins grande d'électricité négative, tous les corps qui dans les décompositions chimiques par la pile, se portent habituellement au pôle positif, comme s'ils avaient de l'affinité pour l'électricité positive; tandis que nous regarderons comme électro-positifs ceux qui se portent de préférence au pôle négatif.

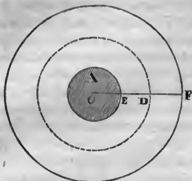
Ainsi le fluor, l'iode, l'oxigène, le chlore, les acides, etc., seront électro-négatifs; l'hydrogène, les oxides, les alcalis, les métaux, etc., seront électro-positifs.

Mais si les particules des corps sont naturellement dans un état électrique, on peut se demander pourquoi ils ne donnent eux-mêmes aucun signe d'électricité. Il est facile de répondre. En effet, les particules des corps se sont trouvées en contact avec des corps plus ou moins conducteurs, puisqu'aucun corps n'est complétement dépourvu de la faculté conductrice avec le temps: elles ont agi par influence pour attirer l'électricité de nom contraire à la leur et pour repousser l'électricité de même nom; par ce moyen elles se sont formé comme une petite atmosphère électrique qui, à toute distance sensible, dissimule leur électricité propre: elles peuvent être assimilées à de petites bouteilles de Leyde.

Examinons de plus près jusqu'à quel point cette hypothèse est admissible. Considérons un atome d'un corps simple ou d'un corps supposé tel, par exemple, un atome A de zinc.

Il est électro-positif; il doit donc avoir une atmosphère électro-négative.

Pour fixer les idées, supposons une forme à cet atome, par exemple, la forme d'une sphère. Si l'atome est simple, il faut supposer la vertu électrique répandue uniformément dans toute son étendue. Alors l'action électrique s'exercera comme si tout le fluide était réuni au centre de l'atome A. Cela posé, il résulterait des lois ordinaires de l'électricité que l'atmosphère devrait avoir une épaisseur infiniment petite. Car si nous lui supposons une épaisseur finie EF, une molécule de fluide électrique neutre placée en F ne devra éprouver aucune action. Or l'atmosphère électrique agira commme si elle était tout entière au centre C, et il en sera de même de l'électricité propre de l'atome. Si donc on conçoit une molécule de fluide neutre en D, cette molécule sera soumise à l'action du



fluide propre, comme s'il était concentré en C, et seulement à l'action de la portion de l'atmosphère dont l'épaisseur serait ED; donc s'il y a équilibre pour le point F il n'y aura pas équilibre pour le point D. Il faudrait donc que l'épaisseur EF fût pour ainsi dire nulle, et alors tout se passerait comme si l'atome était absolument dans un état neutre: quant à l'électricité de l'atmosphère, elle devra aussi être considérée comme nulle, et on ne pourrait donc tirer, dans ce cas, aucune conséquence de l'hypothèse admise.

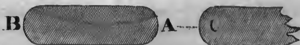
Mais il résulterait des mêmes principes que la couche électrique répandue dans une sphère métallique, par exemple, se réduirait à une surface mathématique, ce qui est impossible. Il faut donc supposer que cette couche a au moins une épaisseur comparable à la distance des particules et des atomes, et cela ne peut avoir lieu qu'autant qu'on supposera que les atomes des fluides électriques réagissent les uns sur les autres à des distances très petites, suivant une autre loi que celle de la raison inverse du carré des distances. On peut admettre ce principe sans répugnance, comme on admet que l'action capillaire suit une autre loi que la gravitation universelle.

C'est donc à cette hypothèse que nous nous arrêterons, et nous supposerons que l'atmosphère électrique d'un atome s'étend à une distance comparable aux dimensions des atomes et à leurs distances respectives: et cela quelle que soit la forme des atomes, comme on peut facilement le concevoir.

Considérons maintenant une masse métallique quelconque: ce sera comme un système d'atomes liés entre eux invariablement. Chacun de ces atomes, électro-positif par sa nature, aura une atmosphère électro-négative. Mais il est aisé de concevoir que toutes les atmosphères électro-négatives, en vertu de la force moléculaire dont nous venons de parler, réagiront les unes sur les autres, de sorte qu'il y aura une certaine quantité d'électricité négative distribuée

d'une manière continue entre les atomes, plus intense seulement près de ces atomes ; outre cela, il y aura une grande quantité de fluide neutre répandu entre les mêmes atomes. Il est évident que ces considérations peuvent s'appliquer à des corps électro-négatifs et aussi à des corps composés dans lesquels, au lieu d'atomes simples, on aurait des particules composées. Ainsi nous considérerons dans les corps quelconques deux sortes d'électricité, l'électricité inhérente aux atomes ou aux particules du corps, et une électricité intermoléculaire formée d'un excès d'électricité contraire mêlée avec une quantité considérable de fluide neutre. Il faudra qu'il y ait équilibre entre les forces électriques, sans quoi il y aurait décomposition dans le fluide neutre intermoléculaire : ainsi l'électricité inhérente aux particules du corps devra être dissimulée par l'excès d'électricité contraire qui se trouve dans l'électricité intermoléculaire.

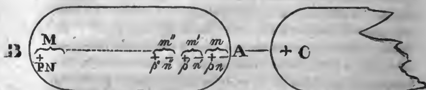
Nous allons chercher maintenant si ces notions n'ont rien d'incompatible avec le mouvement de l'électricité dans les corps conducteurs



Soit un conducteur A B en présence d'une source C d'électricité, dont l'intensité puisse être augmentée à volonté. On peut supposer, par exemple, que C soit le conducteur d'une machine électrique ordinaire, et qu'on augmente progressivement la charge de ce conducteur en faisant tourner le plateau ; l'électricité sera positive en C. Dans la théorie ordinaire de l'électricité, on se contente de dire que l'électricité positive de C agit par influence sur le fluide neutre de A B, attire en A le fluide négatif, repousse en B le fluide positif, et l'on paraît croire que cette séparation des deux fluides se fait tout d'un coup, parce qu'en effet le phénomène a lieu dans un temps très court. Cette explication brute, qui suffit dans un certain nombre de cas, est pourtant en contradiction avec les notions généralement admises.

En effet, si la molécule *m* de fluide neutre est décomposée par

l'influence de l'électricité accumulée en C, la molécule négative n est attirée à l'extrémité A, la molécule positive p est repoussée, mais il est évident que cette molécule ne peut être chassée tout d'un coup à l'extrémité B, car elle ne peut traverser ainsi tout le corps conducteur A B qui est rempli de fluide neutre, sans agir par attraction sur les molécules négatives, par répulsion sur les molécules positives. Observons, outre cela, que l'influence de C s'étend sur



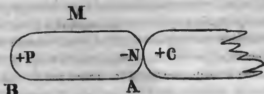
tes les molécules m, m', m'', du fluide neutre. Au premier instant, les molécules n, n', n'' sont attirées, les molécules p, p', p'' repoussées, de manière à prendre la disposition que représente la figure. Cette disposition est encore favorisée par la réaction mutuelle des molécules p et n', p' et n'', etc. Dans l'instant suivant, la molécule p se réunira avec la molécule n' et formera une molécule neutre; la molécule p' se réunira avec la molécule n'', et ainsi de suite, et alors il restera à l'extrémité B une molécule positive p.

Ce que nous venons de dire pour la série des molécules m, m', m'', peut se dire également de plusieurs séries de molécules neutres voisines de celles-là ; en sorte qu'après ces décompositions et cette recomposition intermédiaire dans tout le conducteur A B, il restera en B un excès d'électricité positive qui satisfera aux conditions d'équilibre ordinaires.

Si l'intensité de l'électricité en C vient à augmenter, les intensités de l'électricité contraire en A et en B augmenteront aussi, mais par une succession de décomposition et de recomposition telle que nous venons de l'expliquer.

Concevons maintenant que l'on mette le corps conducteur A B en communication immédiate avec une source d'électricité C assez aible pour qu'il n'y ait pas d'étincelle sensible. Dans l'instant qui précède immédiatement le contact, il y a du fluide négatif accumulé en A et du fluide positif accumulé en B, et il y a équilibre entre

toutes les forces électriques. A l'instant du contact, une partie du fluide négatif accumulé en A se réunit avec une partie du fluide po-



sitif en C pour faire du fluide neutre. Les quantités de fluide en A et en C diminuent, et le fluide positif en B s'étend en partie vers A, parce que la répulsion du fluide qui est en C n'est plus suffisante pour le contenir : mais il est évident qu'il y a encore une série de décomposition et de recomposition de B vers A. Le fluide neutre intermédiaire est décomposé, les molécules négatives se réunissent avec une partie de P et les molécules positives restent en excès vers A. En sorte qu'à l'instant où tout le fluide négatif N de A se sera réuni avec une égale quantité de fluide positif de C, il y aura du fluide positif en excès dans toute l'étendue du corps conducteur A B et du conducteur C. D'ailleurs le fluide se distribuera à la surface suivant les lois ordinaires.

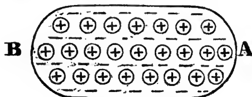
Ces raisonnements s'accordent très bien avec un résultat d'expérience. C'est que les corps les plus conducteurs sont aussi ceux qui s'électrisent le mieux par influence, parce que dans l'un et dans l'autre cas il faut que la décomposition et la recomposition du fluide neutre puisse se faire avec une grande facilité. Nous regarderons donc dorénavant comme les meilleurs conducteurs les corps qui apportent le moins d'obstacles à la séparation et à la réunion des deux fluides dans leur intérieur.



Examinons maintenant comment l'étincelle électrique se produit lorsque le conducteur A B et la source C d'électricité sont en pré-

sence. C'est la résistance de l'air qui empêche la réunion du fluide positif en C avec le fluide négatif en A. S'il y avait un vide entre A et C, comme le vide est bon conducteur, ces fluides se réuniraient ou plutôt il y aurait une série de décomposition et de recomposition dans laquelle tout le fluide négatif de A se trouverait neutralisé, ainsi qu'une égale portion du fluide positif de C. La résistance de l'air s'oppose à cette neutralisation, parce que l'air est mauvais conducteur et empêche les décompositions et recompositions qui tendent à avoir lieu entre A et C. Mais lorsque la tendance devient trop forte, elle surmonte la pression extérieure, elle écarte les molécules de l'air, comme le prouve l'expérience (1), et établit entre A et C comme un petit canal vide où les décompositions et les recompositions se font avec la plus grande facilité. C'est alors que l'étincelle a lieu, et la compression rapide de l'air qui en résulte élève la température, produit le bruit, et probablement la lumière, comme dans le briquet de compression.

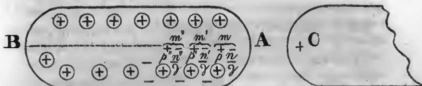
Jusqu'à présent nous avons fait abstraction de l'électricité inhérente aux molécules; mais cette électricité ne gêne en rien les explications précédentes. En effet, soit un corps conducteur A B dont l'électricité inhérente soit positive, il y aura dans l'électricité intermoléculaire un excès de fluide négatif qui dissimulera l'électricité inhérente comme le représente la figure.



Il y a nécessairement équilibre entre toutes les actions électriques qui s'exercent dans l'intérieur des corps; sans cela il se ferait une nouvelle décomposition dans l'intérieur de ces corps. Si donc le

(1) Cette expérience consiste à faire éclater l'étincelle dans un espace plein d'air qui contient de l'eau dans sa partie inférieure, et auquel est adapté un petit tube latéral dans lequel l'eau se tient de niveau; au moment de l'explosion l'eau monte dans ce tube latéral.

corps est soumis à l'influence d'une source C d'électricité positive, par exemple, au premier instant tout se passera comme si les forces électriques dues à l'électricité inhérente et à l'excès d'électricité intermoléculaire négative n'existaient pas. Une file de molécules neutres m, m', m'',... M se décomposera donc comme dans le cas précédent sous l'influence électrique extérieure, et l'on aura la disposition déjà indiquée. Dans l'instant suivant, la molécule positive



p se réunira à la molécule négative n' pour faire du fluide neutre, la molécule p' à la molécule n'' etc., ou bien la molécule p se réunira à la molécule négative γ en excès dans l'électricité intermoléculaire. La molécule p' pourra de même se réunir à la molécule γ', etc. Mais alors les molécules négatives n, n', n'' remplacent dans l'électricité intermoléculaire les molécules γ, γ', γ''...., en sorte qu'il restera une molécule N négative vers l'extrémité A, et une molécule P positive vers l'extrémité B. Il est d'ailleurs évident qu'il en est de même pour d'autres files de molécules entre A et B.

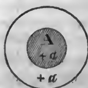
On doit admettre encore que dans le même temps l'électricité positive de C attire vers A l'excès d'électricité intermoléculaire négative, toujours par une suite de décompositions et de recompositions intermédiaires: mais alors l'électricité inhérente des molécules du corps, n'étant plus dissimulée au contact, décompose une nouvelle quantité de fluide neutre; le fluide négatif est employé à la dissimulation de l'électricité inhérente; le fluide positif, repoussé par cette électricité inhérente, obéit, en outre, à la répulsion de l'électricité positive de C et est chassé vers B, mais toujours par une suite de décompositions et de recompositions; en sorte qu'il se trouve une certaine quantité d'électricité négative à l'extrémité A et une certaine quantité d'électricité positive à l'extrémité B, conséquence entièrement conforme à l'expérience.

On voit par là que l'électricité inhérente et l'excès d'électricité

intermoléculaire contraire ne s'opposent en rien aux décompositions et recompositions produites par les forces électriques. Des considérations semblables s'appliquent également dans le cas du contact où l'électricité de la source semble passer dans le corps conducteur.

Ainsi l'hypothèse de l'électricité inhérente aux molécules des corps n'a rien de contraire aux notions généralement admises. Voyons maintenant si les conséquences qu'on en peut tirer s'accordent avec l'expérience.

Dans la combinaison de deux particules, il peut arriver qu'elles soient dans des états électriques différents ou dans des états semblables.





Soit d'abord le premier cas, une seule molécule A électro-négative, et une molécule B électro-positive : la molécule A aura une certaine quantité — *a* d'électricité négative qui sera dissimulée par une égale quantité + *a* d'électricité positive qui lui composera une petite atmosphère électro-positive ; la molécule B renfermera une certaine quantité + *b* d'électricité positive qui sera dissimulée par une atmosphère — *b* négative. Tant que les molécules A et B seront à une distance suffisante l'une de l'autre, il ne se passera rien ; c'est, en effet, ce que l'expérience confirme : l'hydrogène et l'oxigène, par exemple, peuvent rester en contact dans le même vase sans qu'il y ait combinaison.

Mais si par un moyen quelconque on force les molécules A et B à s'approcher davantage, alors une petite partie de l'atmosphère + *a* de A se réunira avec une égale partie de l'atmosphère — *b* de B pour faire du fluide neutre : les électricités propres — *a* de A et + *b* de B ne seront plus complétement dissimulées ; elles agiront l'une sur l'autre et détermineront un plus grand rapprochement des molécules. Les atmosphères + *a* et — *b* se neutraliseront de plus en plus, et les particules A et B continueront de se rapprocher jusqu'à ce que la combinaison soit devenue aussi intime qu'elle peut l'être. Alors on aura une molécule composée que je représente par AB.

Si *a* est plus grand que *b*, une partie de l'électricité — *a* de A sera



dissimulée par l'électricité $+b$ de B ; mais la molécule composée se comportera comme une molécule électro-négative qui renfermerait une quantité d'électricité représentée par $-(a-b)$, il lui faudra donc une atmosphère électro-positive $+(a-b)$, qu'elle trouvera là tout naturellement. En effet, si le contact de A et B pouvait être aussi intime que le représente la figure, toute l'atmosphère $-b$ de B, attirée successivement par l'atmosphère $+a$ de A aurait neutralisé une égale quantité de cette atmosphère, de telle sorte qu'il n'en resterait plus qu'une partie, justement ce qu'il faut pour dissimuler l'électricité négative $-(a-b)$, qui n'est pas encore dissimulée dans la molécule composée A B. Il est probable que dans la réalité, le contact n'est pas aussi intime que nous l'avons supposé, et qu'alors l'électricité $+b$ de B ne dissimule pas une égale quantité de l'électricité $-a$ de A ; mais alors toute l'amosphère de B ne sera pas neutralisée, et il restera toujours ce qu'il faut pour que les électricités propres de la molécule composée A B soient dissimulées à distance sensible.

Il est évident que la molécule A B pourrait être considérée comme dans un état neutre, si on avait $a=b$, et qu'elle serait, au contraire, électro-positive avec une atmosphère électro-négative, si on avait a plus petit b.

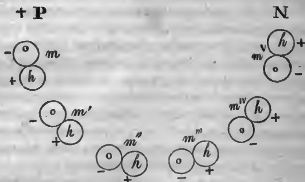
On doit remarquer que, dans la combinaison de deux molécules de nature électrique contraire, il y a neutralisation plus ou moins complète des atmosphères, et dissimulation seulement des électricités propres.

Il se passera des choses analogues, si l'on considère la combinaison d'un corps électro-négatif avec un corps électro-positif, parce que la combinaison ne se fait jamais qu'entre un petit nombre de molécules.

Par exemple, pour former l'eau, chaque molécule d'oxigène se combine avec deux molécules d'hydrogène, et la particule composée est sensiblement dans un état neutre, en sorte qu'elle n'a pas besoin d'atmosphère ; ce qui tient à ce que les électricités propres de deux molécules d'hydrogène peuvent dissimuler à peu près complétement l'électricité propre d'une molécule d'oxigène.

Ces principes peuvent servir à expliquer avec une grande facilité

la décomposition des corps composés par l'action de la pile voltaïque.



Soit P le pôle positif, et N le pôle négatif d'une pile, et supposons les deux points réunis par un liquide conducteur, par exemple, de l'eau acidulée ou salée. Il s'établira d'abord une série de décompositions et de recompositions comme nous venons de le dire, mais en même temps le liquide n'étant pas conducteur parfait opposera au mouvement des fluides une certaine résistance: alors le fluide positif du pôle P attirera l'oxigène *o* de la molécule *m* d'eau la plus voisine, parce que l'oxigène est par sa nature électro-négatif; l'hydrogène *h* électro-positif sera repoussé, et la molécule composée *m* prendra la disposition représentée dans la figure. L'hydrogène *h* de la molécule *m* étant électro-positif attirera l'oxigène o^{1} de la molécule m' suivante, repoussera l'hydrogène h^{1} de cette molécule, et fera tourner la molécule m' comme le représente la figure; et ainsi de proche en proche jusqu'au pôle N de la pile qui attire la molécule h^{v} d'hydrogène d'une molécule m^{v} d'eau, et repousse la molécule o^{v} d'oxigène, de telle sorte que l'action de l'un des pôles s'accorde avec l'action de l'autre pour donner à une série de molécules réunies entre les deux pôles la disposition que nous supposons, et qui est favorisée encore d'ailleurs par les décompositions et recompositions qui se font toujours dans l'électricité intermoléculaire. Bientôt l'action de la pile et de l'électricité qui passe dans l'eau l'emporte sur l'affinité des molécules *m* et m^{v}; l'oxigène *o*

de m se sépare de l'hydrogène h, qui se réunit avec l'oxigène o^{1} de m' pendant que h' se réunit avec o^{2}, h^{2} avec o^{3}, etc., jusqu'à la molécule m^{v}, où h^{v} attirée par le pôle N de la pile se trouve mis en liberté. Il est important de remarquer que le pôle positif P de la pile, en attirant la molécule o électro-négative, lui fournit justement la quantité d'électricité positive nécessaire pour former son atmosphère, tandis que le pôle négatif N fournit une atmosphère électro-négative à la molécule h^{v} d'hydrogène. Il suit de là que si l'on recueille séparément l'oxigène et l'hydrogène, ils ne donneront aucun signe de leurs électricités propres (1). Mais il n'en serait pas toujours de même dans tout autre mode de décomposition, et alors chacun des corps pourrait donner des signes d'électricité : c'est justement ce qui a lieu dans les expériences de M. Pouillet.

Dans ses expériences, M. Pouillet défait les combinaisons par l'action de la chaleur.

Il met dans une capsule de platine, dont la température a été très élevée, du phosphate d'ammoniaque, combinaison d'un acide, l'acide phosphatique, et d'un alcali, l'ammoniaque. Par l'action de chaleur, la combinaison se défait, l'ammoniaque, qui est très volatile, se dégage, et l'acide reste : si le creuset est disposé sur le plateau d'un électromètre condensateur, et si l'on reçoit l'ammoniaque dégagé sur le plateau d'un autre électromètre condensateur. Le premier indique que le creuset est dans un état négatif, le second indique que l'ammoniaque est dans un état positif.

En effet, l'acide, électro-négatif de sa nature, ne recevant pas par le mode même de décomposition de quoi dissimuler son électricité propre, agit par influence sur le fluide naturel du creuset, s'empare d'une partie du fluide positif pour dissimuler son électricité propre, et repousse le fluide négatif correspondant, de sorte que le creuset est extérieurement dans un état négatif. De même l'ammoniaque, étant par sa nature dans un état électro-positif, se comporte par rapport au plateau comme un corps chargé d'électricité positive.

(1) On peut appliquer une explication de même genre à toutes les décompositions chimiques par l'action de la pile, et les corps séparés ne donneront jamais aucun signe de leur électricité propre.

On a des effets analogues avec l'eau et un alcali, ou l'eau et un acide.

Soit d'abord une dissolution de baryte : si on la soumet à l'action de la chaleur, l'eau s'en va et la baryte reste. Avec des électromètres condensateurs convenablement disposés on trouve que l'eau donne des signes d'électricité négative et la baryte des signes d'électricité positive. Pour expliquer cette expérience, il faut se rappeler que la baryte est, en qualité d'alcali, par sa nature, électro-positive; ses particules ont donc des atmosphères électro-négatives, ces atmosphères s'étendent un peu dans l'eau, et c'est même là une des causes qui favorisent la dissolution. A l'instant où l'eau passe à l'état de vapeur, elle se sépare de la baryte, l'air s'interpose comme une lame isolante et empêche la baryte de reprendre toute son atmosphère qui reste en excès dans l'eau. La vapeur d'eau doit donc se trouver dans un état électro-négatif, et la baryte, privée ainsi d'une partie de l'électricité intermoléculaire qui dissimulait son électricité propre, doit donner des signes de cette électricité propre qui est positive.

Si l'on soumet à l'action de la chaleur une dissolution d'ammoniaque, c'est l'ammoniaque qui s'en va et l'eau qui reste. Le condensateur en contact avec l'ammoniaque qui se dégage donne des signes d'électricité positive, l'autre donne des signes d'électricité négative, ce qui doit être. En effet, l'ammoniaque, en qualité d'alcali, est électro-positive, et les atmosphères électro-négatives de ses molécules s'étendent dans l'eau. A l'instant de la séparation, l'air s'interpose pour couper l'atmosphère en deux, de manière qu'une partie reste dans l'eau qui doit donner par conséquent des signes d'électricité négative, et l'électricité propre de l'ammoniaque, n'étant plus complétement dissimulée, doit se manifester à l'électromètre. Des raisonnements semblables s'appliquent très bien lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur une dissolution d'un acide; par exemple, une dissolution d'acide sulfurique, ou une dissolution d'acide sulfureux. Dans le premier cas, c'est l'eau qui s'en va, et l'acide reste : dans le deuxième cas, l'acide manifeste l'électricité négative, parce que son électricité propre n'est plus complétement dissimulée; l'eau manifeste l'électricité positive parce qu'elle a conservé une partie des atmosphères des particules d'acide.

Enfin les mêmes considérations peuvent s'appliquer à une dernière expérience assez curieuse et même plus sensible.

On dispose sur un électromètre condensateur un morceau de charbon ; on l'allume tantôt par sa partie supérieure, tantôt par sa partie inférieure, et l'on dispose un autre électromètre de manière que l'acide carbonique qui se forme vienne toucher le plateau collecteur. Si le charbon est allumé dans la partie supérieure, on reconnait que l'acide carbonique est dans un état positif, tandis que le charbon est dans un état négatif. Si on l'allume dans la partie inférieure, on n'a aucun signe d'électricité.

L'acide carbonique est formé par la combinaison du charbon avec l'oxigène ; or, dans la combinaison de deux corps de nature électrique contraire, en général, une partie des atmosphères des molécules se neutralise, et il reste justement ce qu'il faut pour dissimuler l'électricité propre de la molécule composée : mais cela suppose que les molécules se combinent dans un milieu conducteur, de manière que les parties postérieures des atmosphères puissent tourner, pour ainsi dire, autour des molécules pour aller se neutraliser plus ou moins entre elles.

Or, dans l'expérience précédente, la combinaison du charbon avec l'oxigène se fait dans l'air, qui est mauvais conducteur. Il en résulte que la partie postérieure de l'atmosphère de chaque molécule d'oxigène reste en excès dans l'acide carbonique, et alors il reste aussi sur le charbon la partie postérieure des atmosphères des molécules de charbon qui se sont combinées, de manière que la neutralisation des atmosphères n'a pas été telle qu'elle aurait dû être pour que la neutralisation des molécules fût complète ; l'acide carbonique doit donc donner des signes d'électricité positive à cause des portions des atmosphères d'oxigène qui auraient dû être neutralisées, et qui y sont restées : le charbon doit donner des signes d'électricité négative, parce qu'il a conservé une partie des atmosphères des molécules de charbon qui se sont combinées.

Mais si l'on détermine la combustion du charbon par en bas, le gaz acide carbonique à l'instant où il se forme se trouve bien dans un état positif, mais en montant il lâche pour ainsi dire le charbon qui est dans un état contraire, et comme le gaz chaud peut deve-

nir conducteur, la neutralisation se fait dans ce trajet de manière que tout signe d'électricité disparaît à peu près complétement.

Considérons présentement la combinaison de deux corps doués d'une même électricité propre.

Soit A une molécule du premier, B une molécule du deuxième, soit $+a$ l'électricité propre du premier, $+b$ celle du deuxième, leurs atmosphères seront $-a$, $-b$. Si la combinaison est déterminée par une cause quelconque, la molécule composée AB aura une électricité propre $+(a+b)$, il lui faudra une atmosphère $-(a+b)$: elle la trouvera dans la somme des atmosphères $-a$ et $-b$ des molécules composantes A et B. Mais l'atmosphère $a+b$ ne sera pas répartie également autour de la molécule composée AB à cause de la répulsion mutuelle des molécules du fluide qui la compose, elle se portera du côté de la molécule composante la moins électrique, de manière qu'elle sera plus intense du côté de cette molécule que ne l'était l'atmosphère même de cette molécule avant la combinaison. C'est une raison pour que l'électricité tende à favoriser la combinaison des molécules douées de la même électricité, parce que la répulsion mutuelle des molécules de l'atmosphère la plus intense se trouve mieux satisfaite par l'extension de cette atmosphère.

Si l'une des molécules composantes est à l'état neutre, l'autre fournira ce qu'il faut pour l'atmosphère de la molécule composée ; mais l'atmosphère s'étendra un peu autour de la molécule neutre, ce qui pourra favoriser la combinaison, comme dans le cas précédent.

Si dans l'un ou l'autre de ces deux cas, on pouvait séparer tout à coup par une lame isolante les molécules composantes d'une molécule composée : dans le premier cas, celle qui a l'électricité la plus intense donnerait des signes de son électricité propre, parce qu'elle n'aurait pas eu le temps de reprendre toute son atmosphère, et l'autre manifesterait une électricité contraire due à un excès d'atmosphère ; dans le deuxième, la molécule électrique manifesterait son électricité propre, parce qu'elle n'aurait pu reprendre toute son atmosphère ; la molécule neutre donnerait des signes d'une électricité contraire, à cause de l'atmosphère étrangère qu'elle aurait conservée.

Ce qu'on ne peut qu'indiquer ici quand il s'agit de molécules, on peut le vérifier au contact des corps conducteurs en les isolant avec des manches de verre ; à l'instant où on les sépare après les avoir mis en contact, l'air qui s'interpose fait l'office de lame isolante.

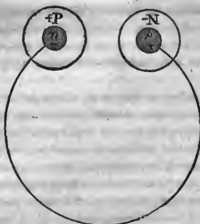
Soit mis en contact un disque de zinc et un disque de cuivre ainsi isolé : ils sont tous deux électro-positifs, mais le zinc plus que le cuivre. Comme les deux métaux sont conducteurs, les atmosphères des molécules du zinc voisines du contact pénétreront un peu dans le cuivre, à cause de la plus grande répulsion qu'elles éprouvent du côté du zinc, le cuivre deviendra donc un peu électro-négatif par l'excès d'atmosphère, le zinc un peu électro-positif par son électricité propre ; et si on les sépare tout à coup, ils donneront des signes d'électricités contraires. On peut le reconnaitre avec dix à douze contacts, en déchargeant successivement l'un des plateaux sur un électromètre condensateur, et l'autre sur un autre électromètre condensateur. Pour le zinc, il faut interposer une bande de papier mouillé entre le zinc et le plateau de cuivre du condensateur pour empêcher l'action mutuelle du cuivre et du zinc : cette précaution serait inutile si le plateau collecteur était en zinc.

L'exemple de l'autre cas s'est déjà présenté dans l'évaporation d'une dissolution acide ou alcaline.

Ces raisonnements rendent aussi compte, comme on le voit, de la force électro-motrice qui agit dans un couple de la pile voltaïque.

Les mêmes considérations peuvent aussi servir à expliquer quelques expériences curieuses de M. Becquerel, sur le sens des courants qui s'établissent dans le cas de la combinaison ou du simple contact de deux substances.

Lorsque l'on fait combiner un corps électro-négatif avec un corps électro-positif, par exemple un acide avec un alcali, et que d'ailleurs on les réunit par un fil métallique conducteur, on reconnait par le galvanomètre qu'il s'établit un courant qui va de l'acide à l'alcali. S'il y a seulement contact, sans combinaison, entre un corps électro-négatif et un corps électro-positif, le courant va du corps électro-positif au corps électro-négatif.

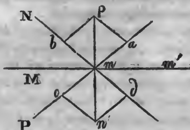


Soit *n* une molécule d'un corps électro-négatif, et *p* une molécule d'un corps électro-positif: la molécule *n* aura une atmosphère positive P, et la molécule *p* une atmosphère négative — N. A l'instant des combinaisons les parties des atmosphères les plus voisines du contact formeront du fluide neutre par leur combinaison, les fluides propres des molécules se dissimuleront mutuellement, au moins en partie, et n'exerceront plus d'action, ou presque plus d'action sur les atmosphères ; ces dernières, à l'exception des parties antérieures qui se sont combinées, reflueront pour ainsi dire dans le conducteur métallique ; et par voie de décomposition et de recomposition elles produiront un courant positif du corps électronégatif au corps électro-positif, parce que le métal est bien meilleur conducteur que le milieu dans lequel se fait la combinaison.

Supposons maintenant qu'il y ait simplement contact sans combinaison. Les fluides propres se dissimuleront en partie près du contact, les atmosphères formées d'électricités contraires pourront donc se combiner près du contact; mais à chaque instant les molécules, par leurs électricités propres, attireront les fluides contraires du conducteur interposé pour se former de nouvelles atmosphères et rétablir l'équilibre ; il s'établira donc dans le conducteur un courant positif du corps électro-positif au corps électro-négatif, c'est-à-dire le contraire de ce qui a lieu lors de la combinaison.

La considération des forces électriques peut aussi servir à expliquer jusqu'à un certain point la propagation de la lumière. En effet, concevons que deux molécules, l'une P de fluide positif, l'autre N de fluide négatif, se trouvent séparées par une cause quelconque, pendant qu'elles seront dans un état de séparation elles

agiront sur une molécule neutre m composée d'une molécule positive p et d'une molécule négative n; la molécule P exercera sur la



molécule p de m une répulsion que je représenterai par ma, et sur la molécule n une attraction que je représenterai par mc : de même la molécule N exercera sur p une attraction mb et sur n une répulsion md. Si on fait la composition des forces on trouvera que la molécule p sera sollicitée par une force mp' égale à la diagonale de la losange $bmap$ construite sur les forces mb, ma : de même la molécule n sera sollicitée par une force mf égale et opposée à la première : ainsi les molécules p et n se sépareront; elles reviendront ensuite l'une vers l'autre dès que l'action des molécules N et P aura cessé; et en général elles dépasseront leurs positions d'équilibre et exécuteront une suite d'oscillations. Pendant ces oscillations elles agiront à leur tour sur une molécule neutre m', et ainsi de suite, en sorte qu'il s'établira une série de vibrations transversales qui se propageront dans la direction M, m, m' perpendiculaires au sens des vibrations. Ce mode de vibrations est conforme à celui qui, suivant la théorie de Fresnel, produit la lumière. Si donc on admet que le fluide qui transmet la lumière soit justement le fluide électrique neutre, on pourrait rendre compte des vibrations de ce fluide par des décompositions et des recompositions électriques, qui en effet seraient transversales par rapport à la direction de la propagation.

On sera confirmé dans cette idée, si l'on observe que les conducteurs voltaïques s'échauffent et rougissent par le conflit électrique, résultat dont on rendrait alors raison en supposant que les décompositions et recompositions qui ont lieu dans ces fils déter-

minent des décompositions et recompositions analogues dans le fluide neutre environnant.

On pourrait aussi concevoir le développement de la lumière dans les combinaisons chimiques énergiques.

Soit pour exemple la combustion de l'hydrogène. D'après ce que nous avons dit plus haut, pendant que l'hydrogène s'unit à l'oxigène pour faire de l'eau, il faut concevoir que les atmosphères des molécules d'hydrogène et d'oxigène se réunissent pour faire du fluide neutre ; mais pendant l'instant où elles sont libres, elles agissent sur le fluide neutre environnant, pour y déterminer des décompositions et des recompositions telles que nous venons de le dire, et auxquelles on peut attribuer la lumière que produit la combinaison.

Si l'on admet qu'il faille un certain degré d'intensité dans les décompositions et les recompositions des fluides électriques pour produire la sensation de la lumière, tant que la combinaison ne serait pas assez intense, il n'y aurait que de la chaleur, ce qui s'accorde très bien avec les idées actuelles sur l'identité du principe de la chaleur et de la lumière.

TROISIÈME PARTIE.

Pratique de la télégraphie électrique. — Description des divers appareils.

---

§ Ier.

DE LA TÉLÉGRAPHIE EN GÉNÉRAL.

Le mot *télégraphie*, pris dans l'acception la plus générale qu'il puisse recevoir, désignerait réellement l'ensemble des moyens par lesquels un être vivant quelconque se fait comprendre d'un autre: en ce sens il serait synonyme de *communication*. La télégraphie alors ne serait plus une invention humaine, mais un des dons les plus merveilleux de la nature. Ce n'est pas à l'homme seulement, mais à tous les êtres vivants, qu'il est donné de transmettre aux autres leurs impressions; d'éveiller en eux des sensations ou des sentiments analogues. La faculté de communication est le lien tout-puissant de la création animée, il unit chaque vie individuelle à celles qui l'entourent, en se modifiant de mille manières dans le passage d'un genre à l'autre. Il n'est rien qui étonne davantage que l'immense variété de procédés mis en œuvre par la nature, pour atteindre ce but essentiel de l'échange des idées et des sensations. Depuis les signes hiéroglyphiques et les cris non articulés du moindre des insectes, signes et cris insaisissables pour nous, jusqu'au langage humain si riche et si étendu, nous voyons se multiplier et se perfectionner à l'infini les mécanismes par lesquels les êtres entrent en relation les uns avec les autres: ce présent incomparable de la création a pris chez l'homme un admirable développement: il est tout à la fois représentation, parole, écriture: il se joue du temps et des distances, pénètre les profondeurs mêmes de l'existence, et va mettre les esprits en mouvement dans leur inaccessible empire.

De même que l'écriture fixe à jamais le son fugitif qui un moment a frappé l'oreille, et l'arrache, si l'on peut s'exprimer ainsi, au vol rapide du temps, il faut arriver aussi à se jouer de l'espace, anéantir en quelque sorte les distances, et faire que la pensée at-

teigne en un instant les lieux les plus éloignés. La providence n'a pas mis immédiatement à notre disposition les moyens de communication rapide à distance ; c'est à nous à les créer, et pour y parvenir il faut étudier avec soin les forces de la nature et les phénomènes que ces forces produisent, pour pouvoir les dominer et en faire les messagers de nos pensées. Tel est le but que se propose l'art de la télégraphie, en prenant ce mot dans sa signification usuelle.

Le problème qu'il s'agit de résoudre, c'est donc de transporter nos volontés à toutes les distances et avec la plus grande vitesse possible.

Si l'on faisait abstraction des distances trop grandes, la parole serait la plus complète solution du problème ; et ce que la télégraphie exige, c'est une parole perfectionnée, c'est-à-dire qui se fasse entendre à toutes les distances. Ce serait bien évidemment dévier de la perfection que de substituer à la parole un langage écrit ou figuré, plus ou moins semblable à celui par lequel nous nous faisons comprendre des idiots et des muets : on n'aura atteint la perfection qu'autant qu'on aura conservé à la communication à distance cette propriété capitale de nous rendre attentifs malgré nous. Au premier aspect le problème semble hérissé de difficultés insurmontables, car la parole a à sa disposition un très grand nombre d'articulations ou de sons divers, et peut ainsi tout exprimer par un petit nombre de combinaisons : presque tous les essais de télégraphie sont venus échouer contre cette difficulté. Avant Gauss on s'efforçait toujours de se procurer un très grand nombre de signes différents, sans songer que cette multiplicité de signes ne faisait réellement que compliquer ce problème. On ne considérait pas qu'une communication rapide n'est pas possible seulement à l'aide de plusieurs signes, qu'on peut atteindre le même but avec un seul signal, pourvu qu'il soit répété très rapidement, et que ses reproductions soient groupées d'une manière convenable. Pour mieux faire comprendre notre pensée, analysons l'écriture usuelle, en choisissant les lettres latines majuscules. Elles se composent de six traits différents, à savoir d'une ligne droite dans quatre positions différentes; horizontale, verticale, inclinée de la droite vers la gauche, ou de la gauche vers la droite et d'un demi-cercle, ou-

vert à droite ou à gauche. De ces six traits, quatre au plus entrent au maximum dans la formation de chaque lettre, dans M et W, par exemple. Si maintenant on cherche combien de lettres différentes on pourrait former avec ces six traits combinés au plus quatre à quatre, on verra par un calcul facile qu'on obtiendrait à peu près mille cinq cent cinquant-quatre lettres différentes; or avec vingt-cinq lettres seulement le problème de la communication des idées est complétement résolu. Cet exemple montre clairement combien, en réalité, est inutile le grand nombre de traits employés à la formation des lettres dont se compose l'écriture ordinaire. Supposons maintenant que nous n'employons que deux traits, et voyons s'ils seront suffisants à produire une écriture parfaite. Ces traits peuvent être réduits à la plus extrême simplicité; ce seront, si l'on veut, deux points qui se distingueront l'un de l'autre par cette convention que le premier, par exemple, sera toujours placé à une plus grande hauteur. Si dans chaque lettre on n'admet qu'un point, les deux points ne donneront que deux lettres; si dans chaque lettre on admet un ou deux points, aux deux lettres obtenues s'en ajouteront quatre, et l'on aura en tout six lettres. Si *trois* était le maximum des points employés, on aurait huit nouvelles lettres, en tout quatorze. En portant enfin à quatre le maximum des points, on obtiendrait trente lettres différentes, c'est-à-dire autant presque qu'il en faudrait pour représenter les lettres de l'alphabet et les chiffres. Remarquons même qu'on pourrait au second point substituer le premier reproduit deux fois de suite à une très petite distance; on voit donc qu'un seul trait, un seul point suffisent pleinement à la reproduction plus rapide de l'écriture, et que ce seul point par conséquent, bien employé, remplacerait surabondamment les deux traits dont se compose l'alphabet latin. Or ce qu'un point est par rapport à l'écriture, un son l'est par rapport à la parole; les répétitions et les combinaisons d'un seul son suffiraient donc aussi pour la formation d'une langue complète intelligible par l'oreille.

Nous sommes maintenant en état de bien poser les conditions fondamentales que doit remplir un télégraphe si l'on veut qu'il soit le plus simple possible. Il devrait n'employer qu'un signe, mais produit le plus promptement possible. Si l'on veut de plus que ce

signe soit aussi parfait qu'il peut être, il devra être perçu par l'oreille.

Etudions maintenant la série des phénomènes ou des forces de la nature propres à transmettre ce signe dans toutes les conditions posées ci-dessus.

La lumière se présente d'abord avec quelques caractères avantageux. Sa vitesse de propagation est démesurément grande; mais on ne parviendra jamais à produire avec la lumière des signaux perceptibles autrement qu'à l'œil. De plus, la forme ronde de la terre et la propagation rectiligne de la lumière limitent considérablement la distance à laquelle des signaux lumineux peuvent être transmis. Un télégraphe aussi, qui n'emploierait que des signaux lumineux, ne pourrait les transmettre à une autre station qu'autant que l'attention du gardien aura été primitivement éveillée, qu'autant que la distance des deux stations ne dépassera pas un certain nombre de lieues, et que l'atmosphère sera convenablement transparente. Cependant, en dépit de tous ces obstacles, la découverte des télégraphes par Chappe a été partout acceptée et s'est étendue chaque jour davantage depuis 1793, époque à laquelle les premiers télégraphes furent établis en France. Il est remarquable que les perfectionnements apportés jusqu'ici à cette invention n'aient eu pour objet que des circonstances accessoires ; et cependant, quoique les défauts essentiels des télégraphes optiques ne puissent jamais être éliminés, il semble qu'il est possible de leur faire subir des améliorations importantes : indiquons-en quelques unes. Le premier but à atteindre est toujours de transmettre les signaux aussi rapidement que possible. On peut, d'ailleurs, arriver par deux moyens à raccourcir le temps nécessaire à cette transmission : d'abord par l'usage d'abréviations télégraphiques, ce qui entraîne l'introduction d'un grand nombre de signaux alors que tous pourraient s'exprimer par un petit nombre seulement ; puis, ce qui semble plus rationnel, par une plus grande promptitude dans la transmission de chaque signal. La mise en mouvement des grands leviers, dont l'emploi est et sera toujours nécessaire pour rendre les signaux visibles à une grande distance, exige nécessairement un temps considérable : il faudrait donc arriver à se passer du mécanisme des télégraphes actuels. Il nous semble que la proposition, faite par M. Gauss après

l'heureux essai qu'il fit de la transmission des signaux par héliographe, mérite d'être étudiée et peut être facilement mise en pratique. Il a démontré, en effet, qu'un miroir de quelques pouces carrés peut, à une distance de dix lieues et plus, projeter une lumière égale à celle d'une étoile de première grandeur, s'il est disposé de manière à renvoyer vers l'œil de l'observateur une portion de l'image du soleil. Dans le cas où le soleil ne brillerait pas, pendant la nuit, ou par un temps couvert, on pourrait recourir à la lumière Drummond, provenant d'un jet sur un morceau de chaux d'un mélange d'oxigène et d'hydrogène. Les signaux consisteraient dans une série d'éclairs obtenus, en faisant tourner le miroir ou en le cachant. Cette disposition, dont il serait trop long d'exposer ici tous les détails, aurait l'avantage d'une production très rapide des signaux. L'œil perçoit facilement dans une seconde six éclairs qui, après s'être évanouis, laissent sur cet organe une impression semblable à celle de sons qui se succèdent rapidement. On pourrait donc transmettre ainsi 30 signaux pendant le temps que l'on emploie à en transmettre un seul avec les télégraphes actuels. Dans ce cas aussi on n'aurait plus besoin de lunettes, et, ce qui est plus important encore, les observateurs, placés aux stations, verraient seuls les signaux. Ajoutons cependant que ces avantages sont peut-être compensés par les imperfections inhérentes à la télégraphie optique.

Si l'on veut transmettre des signaux à distance sans avoir besoin d'exciter à l'avance l'attention de celui qui les reçoit, on peut recourir à l'oreille, dont les impressions sont spontanées, se perçoivent à distance et n'assujettissent pas l'observateur à rester constamment dans la même position. Mais, pour produire dans une seconde station des signaux perceptibles à l'oreille, il faut que la première soit munie d'un mécanisme ou moteur, qui puisse, par exemple, mettre une cloche en mouvement à une distance plus ou moins grande. Il n'est pas facile de mettre ainsi en jeu une force qui puisse à volonté agir dans un lieu plus ou moins éloigné; on peut toutefois résoudre ce problème de diverses manières. Le son, la chaleur rayonnante, les courants électriques ou galvaniques peuvent jusqu'à un certain point faire atteindre le but cherché, quoique dans la pratique l'application de quelques uns de ces agents entraîne avec elle des difficultés plus ou moins grandes, et des in-

convénients comparables au moins aux avantages qu'on peut en retirer. Le moyen de ce genre le plus naturel est la propagation ordinaire du son à l'aide de porte-voix ou de tubes renforçants ; mais l'utilité de ce mode de signaux n'est réelle qu'à de petites distances. Les sifflets de navire, les trompettes-signal, le cor à incendie, le tocsin, conviennent parfaitement à l'usage qu'on en attend, mais il ne faut pas même songer à les employer pour transmettre des signaux télégraphiques à de grandes distances : d'abord, parce que le son ainsi produit manque de l'intensité nécessaire; puis, parce que la vitesse de propagation du son, qui ne dépasse pas 330 mètres par seconde, est tout à fait insuffisante. Il n'en serait pas ainsi du son propagé dans l'eau ; ici la vitesse est quatre fois plus grande, comme l'ont prouvé Beaudens à Marseille, MM. Colladon et Sturm à Genève ; et des sons même faibles sont encore sensibles à la distance de plusieurs lieues. D'ailleurs, les vibrations ainsi transmises n'affectent pas seulement l'oreille ; elles peuvent encore agir comme vibrations moléculaires ; elles pourraient produire à distance un mouvement ; ce mouvement, renforcé et transmis par un mécanisme approprié, pourrait même produire un son nouveau dans le voisinage de l'observateur. On pourrait donc à la rigueur se servir de ce mode de télégraphie, et il aurait sur le procédé optique l'avantage de fonctionner en tout temps. Partout donc où l'on trouvera une étendue suffisante d'eau horizontale, on pourra à la rigueur transmettre ainsi des signaux.

Un second moyen pour produire à de grandes distances un mouvement momentané, sans conducteur artificiel, est fourni par la chaleur rayonnante, laquelle agissant à l'aide d'un miroir convergent sur un thermo-multiplicateur, donne naissance à des courants galvaniques qui, à leur tour, produisent des déviations d'aiguilles aimantées. Les difficultés d'installation de semblables appareils sont grandes, sans doute, mais non pas insurmontables. Un semblable télégraphe aurait ainsi, sur le télégraphe optique, l'avantage de ne pas exiger la présence et l'attention constantes de l'observateur ; mais les nuages, et d'autres circonstances atmosphériques, empêcheraient aussi son action ; et c'est un défaut capital qui, joint aux embarras qu'il entraîne, ne permettra jamais de lui donner la préférence.

Les trois agents naturels que nous avons considérés jusqu'ici, la lumière, la chaleur rayonnante, le son, jouissent de cette propriété commune qu'ils n'exigent aucune liaison particulière entre les diverses stations. L'air, l'eau, la terre, sont les conducteurs naturels de ces sortes de mouvements; ils se distinguent sous ce rapport des autres agents qu'il nous reste à étudier.

De nombreux essais faits déjà dans le siècle dernier, et que nous avons rappelés, ne laissent aucun doute sur la possibilité d'obtenir, à des distances quelconques, des signaux télégraphiques à l'aide de l'électricité ordinaire ou de frottement : ce genre d'électricité a d'ailleurs sur toutes les autres, ainsi que M. Gauss l'a fait remarquer, l'avantage de ne rien perdre de sa force quand le conducteur devient de plus en plus long, parce que toute la charge de l'une des armatures de la bouteille de Leyde ira, dans tous les cas, quelle que soit la longueur et le diamètre du conducteur, se réunir à celle de la seconde armature. Les expériences de M. Wheatstone ont prouvé que la vitesse de l'électricité est plus grande que celle de la lumière. En comparaison de cette vitesse, toutes les distances terrestres s'évanouissent, et le fluide électrique est réellement le conducteur instantané de nos pensées et de nos ordres. Le bruit qui accompagne partout l'apparition de l'étincelle électrique servirait, en agissant directement sur l'oreille, à rendre spontanément attentif, et remplirait la condition essentielle de toute bonne télégraphie. Avec une machine de dimensions suffisantes, on obtiendra assez de décharges pour que la transmission des dépêches soit suffisamment rapide. Il est beaucoup plus difficile de se mettre à l'abri des vibrations hygrométriques, et des autres influences atmosphériques qui amènent la déperdition de l'électricité; mais en étudiant attentivement la question sous toutes ses faces, on arriverait certainement à surmonter tous les obstacles.

Dans tous les cas, l'électricité voltaïque a de fait, comme nous l'avons surabondamment montré, réalisé tout ce qu'on pouvait attendre de l'électricité ordinaire, et produit de véritables merveilles. Nous possédons désormais le plus rapide et le plus parfait des messagers, et les seuls doutes qui subsistent encore, c'est de savoir si nous lui confions nos pensées sous la forme la plus avantageuse, c'est-à-dire si les vocabulaires en usage dans les divers systèmes de télégraphie électrique sont convenablement assortis.

Nous empruntons une partie des considérations suivantes à la brochure de M. Gonon, inventeur d'un nouveau système de télégraphie aérienne, et d'un vocabulaire dont on raconte des merveilles. Passionné pour son œuvre, M. Gonon exagère souvent; nous nous défendrons de partager son enthousiasme et ses antipathies, pour rester toujours dans les limites du juste et du vrai.

§ II.

DE LA LANGUE TÉLÉGRAPHIQUE.

Depuis la plus haute antiquité jusqu'à nos jours, on a employé tour à tour trois modes de correspondance télégraphique; savoir : le mode PHRASIQUE, ALPHABÉTIQUE et SYLLABIQUE. La France seule a fondé une grande administration pour un service de cette nature.

Le mode PHRASIQUE fut le premier mis en usage alors que les hommes, divisés en peuplades, eurent senti le besoin d'établir entre eux des communications. Dans le principe, les signaux exprimèrent la bonne intelligence qui régnait entre pays voisins, ensuite ils servirent à prévenir les surprises et les massacres en cas de guerre, en transmettant des ordres et des avertissements. Il ne s'agissait que de montrer les objets sous toutes les formes pour dire : « L'ennemi approche. » — « Préparez-vous au combat. » — « Portez-vous à droite ou à gauche. » — « Rendez-vous à discrétion. » — « Massacre général, etc. » Ces premiers télégraphes, s'ils attestaient l'enfance de l'art, firent naître du moins le désir d'en posséder de meilleurs. On ne tarda pas, en effet, à construire des machines à signaux moins grossières; on composa de petits vocabulaires de phrases *toutes faites*, pour les appliquer aux besoins essentiels du temps et du lieu, et l'on parvint à faire coïncider ces phrases avec les mouvements des télégraphes.

Des savants se persuadèrent alors qu'il suffisait de perfectionner les instruments, d'augmenter le nombre des signaux, et de classer en ordre des phrases *arrêtées à l'avance* sur tous les sujets imaginables pour obtenir un système de télégraphie. Cette opinion, partagée encore aujourd'hui par quelques hommes capables, est toutefois une erreur qui tombe devant le raisonnement et l'expérience. La pensée humaine est trop multiple dans ses combinaisons, le choix des mots est trop important pour préciser les faits et le sens des

choses ; il y a trop d'imprévu dans les événements et dans les circonstances qui en dépendent, pour que des formules déterminées puissent jamais servir à une correspondance régulière. Voici d'ailleurs, à l'appui de cette assertion, un fait irrécusable.

Le plus étendu et le meilleur des systèmes télégraphiques phrasiques connus, est celui du professeur Charrière, d'origine suisse, mort depuis peu à Moscou. L'instrument qu'il avait inventé donnait cinquante-cinq mille signaux, et son vocabulaire présentait en regard le même nombre de phrases. Eh bien ! il ne put jamais rendre *exactement* une seule des dépêches qui lui furent données, soit par l'empereur Alexandre, soit par d'autres personnes, en sorte que les trente années qu'il avait consacrées à cet immense travail furent perdues pour lui et pour la société.

Le mode phrasique ne peut réellement être utile que dans certains cas prévus, d'un nombre très limité, comme pour la police des routes et des chemins de fer, pour annoncer dans les ports de mer le départ et l'arrivée des navires, etc.

Dans le mode ALPHABÉTIQUE, on fait des mots avec des lettres, et l'on forme des phrases avec des mots. Avant l'invention de la télégraphie électrique, on a cherché inutilement à l'employer en divers pays, tels que l'Égypte, l'Espagne, la Turquie et l'Allemagne. Toutes ces petites lignes ont dû être détruites, en sorte qu'il ne reste pas un seul télégraphe alphabétique debout.

En théorie, ce mode paraît simple et facile, et néanmoins les obstacles qu'il rencontre dans l'exécution sont si grands et si nombreux, que, depuis deux mille ans, on n'était pas encore parvenu à les vaincre.

Examinons les principales difficultés de la télégraphie alphabétique.

1° Pour former des mots, il faut grouper des lettres. Quand on lit ou qu'on écrit, on a sous les yeux ou dans l'esprit le tableau des mots : si les lettres qui composent les mots se présentaient séparément, c'est-à-dire à distance les unes des autres, on ne pourrait lire ou écrire que d'une manière très lente et incertaine, et ceux qui seraient chargés d'écouter la lecture ou de prendre connaissance de l'écrit rempliraient une tâche pénible sujette à beaucoup d'erreurs. Eh bien, ce cas serait précisément celui des signaux

donnant une lettre après l'autre. Combien grande, combien soutenue doit être l'attention de celui qui expédie la dépêche! En outre, comme il y a très souvent des mots de douze, quinze, et même de vingt lettres et plus, ce sont autant de signaux qu'il faut exécuter pour l'envoi de chacun de ces mots. Qu'on juge de l'inquiétude de celui qui, étant posté à l'extrémité de la ligne, reçoit avec lenteur, lettre par lettre, une dépêche un peu longue! Et s'il arrive que l'expéditionnaire, le correspondant ou le traducteur se trompe de signal ou de lettre, qu'il oublie de séparer quelques mots, qu'il en altère le sens, comment sortir d'embarras, si ce n'est en recommençant la dépêche? Et quand on a perdu ainsi un temps favorable, qu'on retrouve à peine quelquefois le lendemain, l'opportunité de la dépêche est-elle toujours de même? Non assurément.

2° Après avoir produit des mots, il faut pouvoir facilement les séparer pour la clarté du sens. — Surcroît de signaux. Pour comprendre combien cette opération met d'entraves aux dépêches, supposons une expédition de trois cents mots; ce sont trois cents signaux de séparation qu'il faut exécuter de surplus pour éviter la confusion des mots. Somme totale : environ deux mille signaux. Or, il est de fait certain que, d'après le système alphabétique, un si grand nombre de mouvements entraîne des erreurs fréquentes et graves. Nous pourrions citer pour exemple les imprimeurs, qui, tout en ayant devant eux de la copie et des caractères, ne réussissent jamais du premier coup une épreuve; et nous ferons observer qu'en fait de télégraphie les fautes sont parfois très dangereuses, parce qu'un NON-SENS peut compromettre les intérêts de l'État.

3° Le mode alphabétique est si simple, si facile à déchiffrer, qu'il oblige à changer souvent de clefs. Indépendamment de la perte de temps que ces changements occasionnent, le nombre des signaux s'en accroît encore, et l'attention des expéditionnaires doit redoubler, puisque *les mêmes signaux changent de valeur* suivant les clefs. Le plus léger oubli, la moindre négligence fait tomber le traducteur dans un embarras qu'il est impossible de décrire.

On comprendra, d'après ces observations, que si la lenteur et les erreurs inhérentes au système alphabétique sont inévitables avec des employés attentifs, elles le seront, à plus forte raison, avec des employés distraits, négligents, malveillants, tels qu'on en rencontre dans toute espèce d'administration.

4° Le mauvais temps, les brouillards amènent des retards considérables dans les expéditions. Plus un télégraphe emploie de signaux ou de temps pour rendre les dépêches, plus il y a de chances d'interruption, à cause des variations de l'atmosphère. Jusqu'à présent les télégraphes alphabétiques n'ont fourni que deux signaux au plus par minute. Donc, une dépêche de cent à cent vingt mots, exigeant environ de onze à douze cents signaux, n'arrive à sa destination (quelque rapprochée qu'elle soit) qu'après un espace de dix heures.

Toutes ces critiques du système alphabétique sont évidemment fondées, au point de vue où s'est placé M. Gonon, d'une transmission lente, de deux signaux par minutes; mais elles tombent d'elles-mêmes quand le mode de transmission, devenu très rapide, peut, à uue distance quelconque, montrer soixante lettres et plus par minute, quand surtout toutes ces lettres sont écrites ou exprimées à distance avec cette même vitesse dans l'ordre et les relations de distance qu'elles avaient entre elles dans les dépêches qu'il fallait transmettre. Si, cessant de fermer les yeux à l'éclatante lumière du jour, M. Gonon voulait bien reconnaître que la télégraphie électrique existe, qu'elle a transmis en Angleterre et en Amérique, lettre après lettre, des discours entiers, presque des volumes, comme le dernier message, par exemple, du président des États-Unis, et cela dans l'intervalle de quelques heures, dans l'espace de temps qu'on mettrait à transmettre une dépêche de quelques lignes dans son système perfectionné, il serait moins absolu ou moins exclusif. Au lieu de défendre, envers et contre tous, son mode de transmission aérienne, il s'attacherait uniquement à faire prévaloir la langue qu'il a créée, le lexique universel qu'il a formé avec tant d'intelligence et de courage patient. Il serait fort alors. Que répondre, en effet, à cette argumentation toute simple: Avec vos procédés de transmission électrique, appliqués au langage alphabétique, si primitif, si lent, si lourd, si peu mystérieux, vous avez obtenu des prodiges, que serait-ce donc si vous adoptiez enfin le mode lexique que je vous propose? Vous épargneriez beaucoup de temps, et surtout vos dépêches resteraient ensevelies dans les ombres du mystère. Le malheur veut que M. Gonon ne puisse pas ou ne veuille pas séparer son lexique télégraphi-

que de l'instrument paresseux et grossier qui le parle ; qu'il se refuse à comprendre que cet instrument, enfance de l'art, est aujourd'hui devenu tout à fait impossible, parce que la transmission électrique des signaux, perfectionnement immense, incroyable, a pris possession du monde entier.

L'honorable inventeur, auquel nous portons un vif intérêt, arrive ainsi à se suicider lui-même, en sacrifiant tristement l'esprit à la matière, la langue à son organe.

Le seul avantage du mode SYLLABIQUE sur le précédent consiste en une quantité un peu moins considérable de mouvements. Toutefois, la machine étant ici plus complexe, donne encore un trop grand nombre de signaux pour le faible résultat qu'elle produit.

Tous ceux qui ont fait usage du mode syllabique sur une grande échelle ont été obligés de l'abandonner après avoir reconnu qu'il est insuffisant pour une correspondance exacte et rapide; toujours en dehors des moyens électriques.

Les trois frères Chappe, neveux du célèbre voyageur Chappe d'Auteroche, faisaient leurs études, l'un au séminaire d'Angers, les deux autres dans un pensionnat situé à une demi-lieue de la ville. Claude, le séminariste, cherchant à adoucir cette pénible séparation, imagina, pour correspondre avec ses frères, le moyen suivant. Il plaça aux deux bouts d'une règle de bois deux espèces d'ailes qu'il faisait mouvoir à volonté, et dont il obtint 192 figures distinctement visibles par une lunette d'approche. Il eut l'idée de faire représenter des lettres et des mots par ces figures différentes, puis il donna avis de son invention à ses frères, qui en firent aussitôt usage dans l'intérêt de leur commune affection.

Ceci se passait peu avant la révolution de 1793. Lorsqu'arriva cette époque de révolution dans les idées, les frères Chappe pensèrent que la France pourrait tirer un grand parti de leurs signaux, s'ils étaient appliqués sur une vaste échelle aux rapports du Gouvernement avec les villes de l'intérieur et de la frontière. Mus par un sentiment de patriotisme, ils s'appliquèrent à compléter l'œuvre qu'ils n'avaient fait qu'ébaucher, en s'aidant des travaux et des connaissances que leur parent, Léon Delaunay, ancien consul, avait acquises dans la langue chiffrée de la diplomatie. Quand ils eurent composé une langue télégraphique appropriée à

leur instrument, ils présentèrent leur système à la Convention, qui ordonna qu'on en fit l'essai.

Les événements secondèrent ces inventeurs de la manière la plus heureuse, car leur télégraphe, qui serait peut-être resté à l'état de projet dans les cartons du ministère, comme le dit Claude Chappe lui-même, fut providentiellement inauguré par l'annonce d'une victoire. Voici la dépêche qu'il envoya de la frontière : « La reprise de Condé sur les Autrichiens. » A quoi la Convention répondit : « L'armée du Nord a bien mérité de la patrie. » Ces deux expéditions, échangées séance tenante, déterminèrent l'adoption définitive d'une invention, merveilleuse pour l'époque.

MM. Chappe eurent donc la gloire de fonder la télégraphie en France, d'en diriger par eux-mêmes les premiers établissements, avec le concours du célèbre horloger Bréguet, et d'organiser cette administration générale, qui a rendu, dans le commencement surtout, de très importants services. Quand on songe que, pendant une si longue suite de siècles, l'esprit humain avait échoué, malgré tous ses efforts, dans l'art des signaux, on se sent pénétré d'une estime et d'une reconnaissance profondes pour des inventeurs aussi utiles à la société. Cependant, après avoir rendu ici un hommage sincère à la mémoire de MM. Chappe, nous allons examiner leur système pour montrer qu'il n'est plus en rapport avec les exigences de l'époque actuelle.

Leur télégraphe est complexe ; il se compose de trois pièces qui se meuvent plusieurs fois pour former un seul signal. La plus grande pièce est appelée *régulateur*, et les deux petites sont nommées *indicateurs*.

Le régulateur est un rectangle de 14 pieds de longueur sur 13 pouces de largeur ; il est *traversé* par un axe qui le rend mobile. Cet axe traverse également un mât en forme d'échelle, placé verticalement.

Les deux indicateurs sont aussi deux rectangles de 6 pieds de longueur sur 1 pied de largeur ; ils sont portés chacun sur un axe qui les rend mobiles aux deux extrémités du régulateur.

L'assemblage des trois pièces forme un *système* unique, élevé dans l'espace et soutenu par un seul point d'appui, l'axe de rotation du régulateur.

Le mât ou poteau qui soutient ce télégraphe est ordinairement en dehors du toit de la maisonnette; il a 14 à 15 pieds de hauteur.

Le régulateur de ce télégraphe prend quatre positions, savoir : la position verticale, horizontale, oblique de droite et oblique de gauche.

Les indicateurs peuvent former des angles droits, aigus ou obtus par rapport au régulateur. En les plaçant de 45 en 45 degrés, on leur donne huit positions; mais une de ces positions a été supprimée, parce qu'on ne l'apercevait pas assez distinctement.

Ainsi, les sept positions relatives du régulateur et des indicateurs donnent sept signaux, qui, multipliés par sept, font quarante-neuf, lesquels, multipliés également par les quatre positions du régulateur, font un total de cent quatre-vingt-seize signaux.

Le télégraphe de France ne possède donc que cent quatre-vingt-seize signaux primitifs, et encore, sur ce nombre, en a-t-on pris plus de la moitié, formés à l'oblique de gauche pour la police des lignes, pour indiquer les accidents, le repos, l'activité, les brouillards, etc.

Il ne reste par conséquent que quatre-vingt-dix-huit signaux primitifs formés à l'oblique de droite pour la correspondance générale.

Si l'on compare ces ressources avec les besoins d'une correspondance étendue, exacte et prompte, on voit aisément qu'elles sont insuffisantes. Avant de démontrer ce fait par des preuves, examinons les mauvais effets de la machine à signaux.

Il suffit de voir fonctionner cette machine étroite et longue pour comprendre qu'elle est peu visible à une certaine distance, et que par un temps de pluie et de brouillard, ou d'autres effets atmosphériques, la juste position de ses signaux doit être très difficile à saisir. Quand on considère, d'autre part, la quantité de mouvements que les expéditions exigent, on conçoit l'embarras, l'incertitude, la lenteur que ces expéditions entraînent. Pour donner *un demi-signal*, par exemple, il ne faut pas faire jouer moins que *toutes les pièces* de l'instrument. Qu'on apprécie le reste! En outre, la plupart des signaux demeurent quelquefois dix minutes ou un quart d'heure en place avant d'être aperçus et transmis; d'où il suit que les employés, qui sont peu certains de la figure ou fatigués d'attendre,

laissent souvent passer le signal au hasard, et commettent beaucoup d'erreurs.

Les moyens du télégraphe Chappe sont si limités, qu'il faut employer au moins quatre signaux pour transmettre soit une lettre de l'alphabet, soit un point, une virgule, soit une simple séparation de mots, etc. Pour produire un signal complet, il faut faire une manœuvre en six temps bien séparés qui prennent au moins vingt-cinq à trente secondes quand l'état de l'atmosphère est favorable. Voici en quoi consiste cette opération : 1° observer la figure que forme d'abord à l'oblique le télégraphe précédent; 2° répéter cette même figure; 3° observer ensuite si ce signal est porté dans la direction horizontale ou verticale, ce qui veut dire que le signal est bon; 4° le porter de même; 5° écrire ce signal; 6° vérifier si le télégraphe suivant a reproduit exactement toutes ces figures.

La complication devient incomparablement plus grande, dans les cas où l'on doit changer de séries, de clés, de vocabulaires, etc., ce qui arrive à chaque instant. Comme il faut ajouter un signal d'avertissement pour chacune de ces opérations, il résulte que, pour transmettre un mot de dix lettres, on envoie plus de quatorze signaux. Or, il est impossible d'expédier rapidement des dépêches un peu longues par des moyens semblables. Aussi, l'administration, pour se tirer de tant de difficultés, a-t-elle soin de rendre toutes ses dépêches d'une manière très laconique.

Pour suppléer aux faibles services du télégraphe pendant le jour, on a essayé de le faire fonctionner pendant la nuit, au moyen d'un éclairage. Les frères Chappe, qui ont fait à ce sujet, dans l'espace de quarante ans, de nombreuses tentatives, ont employé successivement des bougies à réflecteurs, des lampes perfectionnées, des combustibles de toute sorte. Les feux se distinguaient assez bien, mais ils étaient tantôt éteints, tantôt cachés par les mouvements des pièces; les mèches charbonnaient; la lumière, en s'affaiblissant, devenait presque invisible; enfin, les erreurs étaient si fréquentes dans les expéditions, qu'on abandonna tous les systèmes de nuit. Les successeurs de MM. Chappe se sont appliqués aux mêmes recherches, sans obtenir plus de succès.

Passons aux vocabulaires de MM. Chappe.

Les trois vocabulaires de ces auteurs sont ensemble alphabé-

tiques, syllabiques, phrasiques et lexiques. Les deux derniers, toutefois, ne peuvent servir que très rarement, parce qu'ils ne fournissent qu'un très petit nombre de phrases et de mots applicables aux besoins accidentels ou imprévus.

Les combinaisons de ces vocabulaires, employant un grand nombre de séries, occasionnent par là des erreurs et des lenteurs considérables. Le télégraphe donne quatre-vingt-douze signaux pour la correspondance générale. Les vocabulaires, pour marcher d'accord avec l'instrument, ont chacun quatre-vingt-douze pages numérotées, depuis un jusqu'à quatre-vingt-douze. A chacune de ces pages, il y a une série de numéros, depuis 1 jusqu'à 92, et à chaque numéro, dans le vocabulaire des mots, des phrases ou des lettres, on a placé en regard, soit une lettre, soit une syllabe, soit un mot ou une phrase.

Maintenant, pour trouver l'explication des signaux dans les vocabulaires, il faut que le télégraphe donne le signal qui indique d'abord le numéro de la page, et qu'il donne ensuite un autre signal pour indiquer l'un des numéros renfermés dans cette même page. Or, comme nous l'avons dit plus haut, pour produire un signal complet, il faut le porter premièrement à l'oblique, s'arrêter et le placer secondement à la verticale. A ce compte : deux signaux pour le numéro *de* la page, et deux autres signaux pour le numéro renfermé *dans* la page, faisant ensemble *quatre* signaux. Si l'on expédie un mot de dix lettres d'après le vocabulaire alphabétique (ce qui arrive fréquemment), il est évident que ce seul mot exige quarante signaux.

Le second vocabulaire de MM. Chappe ne renferme que des mots. Ainsi : quatre-vingt-douze pages, à quatre-vingt-douze mots chacune, font ensemble huit mille quatre cent soixante-quatre mots. Que peut-on obtenir, dans une correspondance générale et imprévue, avec une si faible ressource ? Quand on sait que la langue française produit plus de quinze cent mille mots différemment orthographiés, sans compter les noms propres, de personnes, de sciences, d'arts, de métiers, etc. ; quand on voit que les verbes seuls fournissent plus de neuf cent soixante mille mots aux conjugaisons, on peut juger si les huit mille quatre cent soixante-quatre mots du vocabulaire lexique de MM. Chappe sont suffisants ! Tout

au contraire, comme ils ne sauraient être à la fois réguliers et irréguliers, masculins et féminins, singuliers et pluriels, ils ne s'emploient que très rarement.

Le troisième vocabulaire de MM. Chappe est phrasique.

Dans celui-ci, quatre-vingt-douze pages renferment chacune quatre-vingt-douze phrases. C'est le vocabulaire qui rend le moins de services, par la raison que les formules déterminées ne conviennent presque jamais pour une correspondance générale et imprévue.

Pour employer quelquefois ce vocabulaire, on l'a appliqué spécialement aux besoins de la guerre et de la marine; mais il n'est pas plus juste dans cette application que dans les autres : et il est resté à peu près étranger aux questions de sciences, d'arts, d'industrie, de commerce, de politique, de justice, etc.

En résumé, voici comment se fait l'envoi d'une dépêche télégraphique, de quatre-vingt à cent mots, d'après le système de France.

Les trois quarts des mots au moins sont traduits en signaux d'après le vocabulaire des lettres et des syllabes; un huitième tout au plus, d'après le vocabulaire des mots; et l'autre huitième d'après le vocabulaire des phrases et des demi-phrases. Le traducteur, on le voit, est obligé de passer continuellement d'uu vocabulaire à un autre pour composer son travail; quelle que soit sou habileté, il est rare qu'il ue commette pas d'erreur et qu'il n'emploie pas beaucoup de temps à une opération aussi longue et aussi difficile.

Une dépêche de cette étendue exige au moins huit à neuf cents siguaux doubles. Supposons trente secoudes par signal, dans les temps favorables, cela fait viugt-sept mille secoudes ou sept heures et demie, pendant lesquelles doit régner une attention extrême sur toute la ligne des télégraphes. S'il se glisse une erreur, soit à la traduction, soit à l'expédition, et qu'il survienne un brouillard, on est obligé, non seulement de recommencer la dépêche, mais presque toujours de la remettre au lendemain ou plus tard. De là les annonces fréquentes : « Interrompu par les brouillards, par la nuit, etc. »

Terminons cette discussion par une appréciation empruntée à M. Chappe lui-même.

« Mon travail, dit-il, facilitera les progrès de l'art télégraphi-
» que, fournira des matériaux, et sera un point de départ pour
» ceux qui voudraient faire des recherches en ce genre. — La
» télégraphie sera probablement plus étudiée dans l'avenir qu'elle
» ne l'est aujourd'hui, et nous continuerons, par nos renseigne-
» ments, à lui servir d'appui, lors même que nous n'existe-
» rons plus.

» Comment n'avons-nous pas deviné que des lignes télégraphi-
» ques établies depuis les principaux points des côtes et des fron-
» tières jusqu'à la capitale, pourraient faire du royaume de France
» le régulateur du commerce de l'Europe, et de Paris le régulateur
» du commerce de la France? Remarquez que cette suprématie ne
» peut être enlevée à la France..... Sa position en Europe, l'étendue
» de ses côtes sur les trois mers, la facilité qu'elle a de réunir par
» le télégraphe l'Océan à la Méditerranée et à la mer du Nord, la
» mettent, pour les opérations de ce genre, dans une situation
» unique, qui ne peut être égalée par aucun pays. Et lors même
» que toutes les puissances qui nous environnent se réuniraient
» pour correspondre télégraphiquement, elles ne trouveraient pas
» un point sur toute l'étendue de leur domination qui pût être,
» comme la France le centre d'une communication générale. »

Après avoir détruit, M. Gonon devait édifier à son tour : aux modes alphabétique, syllabique, phrasique, au système incomplet de M. Chappe, il a voulu substituer des procédés nouveaux : exposons-les rapidement : nous ne dirons que quelques mots de l'appareil qui, comme nous l'avons dit, doit être sacrifié aux procédés de transmission électrique : quant à la langue inventée par lui, M. Gonon en garde le secret, et nous n'en connaîtrons jusqu'à nouvel ordre que ce qu'il lui a plu de nous en révéler. Voici son point de départ.

Une seule voie peut conduire à la solution du grand problème de la télégraphie ; c'est d'abord la création d'un lexique, ou vocabulaire général, dont les signes représentatifs puissent exprimer des dépêches de toute nature, et dans toutes les langues connues ; puis la transmission aussi prompte, aussi fidèle et aussi impénétrable que possible, de ces mêmes signes. Jusque là nous sommes d'accord avec M. Gonon. Nous reconnaissons que les avantages

évidents du mode lexique, en général, sont une très grande économie de signaux, et par conséquent de temps; une possibilité moins grande d'erreur, et aussi une facilité plus grande à envelopper les dépêches d'un secret absolu. Des expériences nombreuses et toujours couronnées d'un succès éclatant prouvent surabondamment que le lexique de M. Gonon offre réellement une supériorité incontestable sur les vocabulaires mis en usage jusqu'à ce jour; nous redirons plus tard en quoi notre opinion diffère de celle de M. Gonon. Laissons-le décrire son invention.

« Quelles sont les conditions d'une bonne télégraphie? L'universalité de son application, une communication exacte, rapide et facile à de très grandes distances, pendant le jour et la nuit. Tel est le système que je présente.

» Mon instrument, complexe en apparence, parce qu'il réunit dix éléments, n'en est pas moins très simple, très facile à faire mouvoir, à cause de la parfaite harmonie de son ensemble. Il est composé de deux colonnes, dont l'une a 33 pieds de hauteur et l'autre 28. — A chacune de ces colonnes sont adaptées deux flèches mobiles. — La distance de 9 pieds, qui existe entre ces quatre flèches, d'une colonne à l'autre, se trouve remplie par six croisées qui doivent simplement s'ouvrir et se fermer. Tous les signaux de ce télégraphe se font par le moyen des quatre flèches et des six croisées, qu'un seul homme fait mouvoir aisément à l'aide d'un mécanisme parfaitement approprié. Ce mécanisme ou répétiteur est placé dans la maisonnette des employés aux signaux; il consiste en quatre cadrans à manivelle qui correspondent aux quatre flèches, et en six touches qui correspondent aux six croisées.

» Ce télégraphe présente, de loin comme de près, un point de visibilité qui ne se dérobe jamais au regard. Sa forme est bien proportionnée, et tous ses mouvements s'exécutent avec la plus grande précision. On pourrait lui faire produire des millions de signaux sans changer de séries, de clefs, de vocabulaires, etc., contrairement à celui de France, qui a recours à ces moyens.

» Dans les innombrables figures que je pouvais m'approprier, j'ai fait choix de 40,960 signaux qui suffisent complétement à tous les besoins d'une correspondance générale. Chacun de mes signaux représente dix, vingt et trente fois plus de valeurs lexigra-

phiques que la télégraphie de France ; en outre, ces signaux se font en un, deux ou trois temps au plus, à raison de deux secondes chacun. De sorte qu'il est aisé à un employé intelligent de faire, au bout d'un mois d'exercice, dix et douze signaux par minute. Or, cette vitesse n'a jamais été atteinte par aucun télégraphe complexe.

» La forme de mon télégraphe le rend propre à être placé sur des édifices publics et n'importe dans quelle localité. Les précautions ont été si bien prises pour le rendre solide, qu'il est à l'abri de toute injure, et qu'il résiste aux plus violentes tempêtes.

» Bref, ce télégraphe étant indéchiffrable, il dispense des changements de séries, de clefs, de vocabulaires, etc., et n'occasionne aucune perte de temps ni de signaux. D'où il suit qu'une dépêche de neuf cents à mille mots, s'expédie, par mon systeme, dans l'espace d'une heure, à la distance 100 à 200 lieues.

» Prenons pour exemple une expédition de Paris à Marseille. Il s'agit, supposons, d'une dépêche de 100 mots avec la ponctuation, les formes et les remarques de la correspoudance. Mes télégraphes, placés *à quatre lieues* de distance les uns des autres, à cause de leur grande visibilité, et de la bonne combinaisou de leurs mouvements, présentent ici une ligne de soixante stations. Au moyen des lunettes, l'espace entre les stations étant, pour ainsi dire, annulé, un signal complet passe d'un télégraphe à l'autre en cinq ou six secondes au plus.

» Comme dans les corps organisés où la matière est unie à un principe de vie, le télégraphe, cette machine parlante qui décèle une intelligence secrète, est le simple organe d'un vocabulaire. Le vocabulaire, en télégraphie, est la première condition vitale d'un système. C'est de son universalité, de sa simplicité, de sa clarté, que dépendent le mérite et l'utilité de la machine à signaux. On ne saurait donc le composer avec trop de connaissance et de perfection. Jusqu'ici tous les systèmes ont été principalement défectueux dans cette partie ; et, malgré l'expérience des devanciers, les partisans de la télégraphie électrique se permettent de la négliger encore aujourd'hui. Il ne faut cependant pas être bien versé dans l'étude de l'art pour comprendre *qu'un trait allongé et un simple point répétés le nombre de fois convenable* (paroles de M. Arago à

la Chambre des députés, d'après l'assertion de M. Foy, administrateur général) ne peuvent suffire à une correspondance générale. Une prétention de cette nature est erronée ou dérisoire.

» Pénétré des difficultés dont ce genre de travail était hérissé, j'ai employé à peu près les neuf dixièmes de mon temps aux combinaisons de mon vocabulaire. J'ai commencé par énumérer et classer tous les mots appartenant à la langue française, après avoir compulsé les meilleurs dictionnaires, lesquels, soit dit par parenthèse, s'accordent fort peu. J'ai examiné ensuite les dictionnaires spéciaux de sciences, d'arts, de métiers, etc. Ayant trouvé que ces mots s'élèvent au nombre approximatif de *quinze cent mille* (sans compter les noms de personnes et de lieux), j'ai réglé en conséquence mes signaux. Ma langue télégraphique exprime donc tous les mots de la langue, chacun de ces mots dans les combinaisons qui lui sont propres, et, en outre, tous les mots nouveaux que l'on peut inventer.

» La même méthode, appliquée aux principales langues étrangères, me donne les mêmes résultats. Le problème une fois résolu pour la nôtre, le reste était presque aisé. La langue anglaise ne produit d'ailleurs que *six cent mille mots* différemment orthographiés; la langue espagnole *neuf cent cinquante mille*, etc.

» Les esprits investigateurs se demanderont sans doute ici en quoi consiste ma méthode. Et moi prudemment je m'abstiendrai de leur en donner la clef. Mais je leur dirai du moins, que le fond de nos opérations consiste en 40,960 figures, au moyen desquelles je rends *mot à mot* toutes les dépêches imaginables avec les citations des langues étrangères, les chiffres, les noms propres allemands, russes, polonais, turcs, arabes, etc. Si l'on objecte que cette quantité de figures ou signaux étant inférieure de beaucoup à celle des mots français, la traduction littérale est difficile à concevoir, je répondrai que le mérite essentiel de mon vocabulaire consiste à fournir des signaux qui expriment chacun (une grande partie, sinon tous) deux, trois, quatre, huit, dix et jusqu'à deux ou trois cents mots, — et que cette brachigraphie précieuse me permet de rendre les dépêches vingt ou trente fois plus vite que le télégraphe de l'administration.

» En résumé, *employer volontairement moins de signaux que de*

mots, telle est la condition première de la vitesse que j'ai obtenue, — vitesse qu'en bien des circonstances importantes pour un gouvernement, je puis élever à un degré cent fois supérieur à celles d'un télégraphe électrique, si toutefois ce système était réalisable. Enfin, les résultats de mon vocabulaire sont : 1° la traduction rapide des dépêches, quelque abstraites qu'elles soient — aux points de départ et d'arrivée; 2° l'emploi d'un nombre de signaux moindre que celui des mots (ce point était le plus important à résoudre) ; 3° le secret impénétrable des dépêches sans changement de clefs, de séries, etc. ; 4° la reproduction textuelle des dépêches sans aucune erreur.

» Pour qu'un système télégraphique soit complet, pour qu'il remplisse sa véritable destination, il faut qu'il soit praticable le jour et la nuit : grâce aux inductions successives de mes travaux, j'ai résolu aussi ce problème. J'ai appliqué l'usage de mon télégraphe de jour au service de nuit, de façon que, sans aucun changement ni dérangement, il puisse fonctionner à l'aide de l'éclairage, après un instant de préparation. Le lecteur en connaît la forme. J'ai dit ailleurs qu'il présente six croisées qui s'ouvrent et se ferment sans oscillation, et par côté quatre flèches, qui font des évolutions autour de deux colonnes. Eh bien ! je n'ai qu'à ajouter des feux *fixes* dans mes croisées, et des feux *mobiles* aux flèches pour indiquer les positions dans la nuit aussi nettement et même plus visiblement que dans le jour, toutes mes pièces étant placées de manière à se prêter une abondante clarté. Ce point réglé, il me restait à trouver un bon élément de lumière, et j'ai réussi dans mes recherches. Un homme, très expert dans la partie des gaz lumineux, M. Charolais, qui a fait en ce genre une belle découverte, m'a fourni un gaz épuré, d'une lumière très intense, lequel ne coûte que 2 centimes par bec et par heure, au lieu de 7 centimes, prix du gaz ordinaire, lequel est bien inférieur au nôtre. Ce nouveau gaz est d'une fabrication facile dans tous les pays du monde où l'on trouve des matières inflammables. Quant au danger d'extinction de lumière, toutes les précautions ont été prises pour le prévenir. Le mouvement de mes flèches est court, bien régulier, et les courants d'air des lanternes ont été ménagés de manière que celles-ci n'aient jamais à souffrir de la pluie ni du vent.

» Ainsi, mon télégraphe de nuit présente pour avantages : la reproduction fidèle des signaux de jour, une lumière magnifique et toutes les garanties désirables quant à l'exactitude et à la solidité. »

Nous ne combattrons pas l'utile invention de M. Gonon, nous admettrons avec lui que son système télégraphique rend avec facilité et célérité les dépêches les plus longues, les plus hérissées de difficultés, en toute espèce de langues ; mais nous repoussons de toutes nos forces la critique amère et peu fondée qu'il fait de la télégraphie électrique, en regrettant que, par ces attaques si inconsidérées, il ait compromis sa cause. Examinons ces objections et réfutons-les.

« 1° On ne pourrait adapter au télégraphe électrique *le mode lexique universel*, dont j'ai démontré l'avantage incontestable sur tous les autres modes, à moins de très grands frais.

» Ce serait un malheur, mais nous ne pensons pas qu'il en soit ainsi ; quoi qu'en dise M. Gonon, le nombre des signes fondamentaux employés par lui est nécessairement borné, et ne peut même être très considérable ; ces signes, dès lors partagés en catégorie, pourront être dessinés sur des disques ou cadrans, et seront montrés à distance, sans difficulté aucune, par les procédés de la télégraphie électrique ; absolument comme pour les signaux de Chappe.

« 2° On ne connaît pas encore le moyen de faire mouvoir ce télégraphe *sûrement et perpétuellement*, à travers les mille variations de l'atmosphère : les forts brouillards et la pluie déchargent le fil conducteur le long des poteaux : il est impossible de conserver des corps isolants dans l'air : lorsque la vapeur de la locomotive est portée directement sur le fil, elle fait l'office du brouillard et de la pluie ; elle rompt le circuit ou l'affaiblit considérablement. Ce défaut se fait bien plus remarquer encore sous les tunnels lors du passage des convois ; tout y est humide, tout y est conducteur, et la perte devient énorme ; cette perte croîtra encore avec la prolongation de la ligne télégraphique : le voisinage de la mer, les pays marécageux, etc., seront des causes de déperdition du courant, dont on ne peut encore indiquer les limites.

» Je fais abstraction pour le moment de la rupture du fil, soit par accident, soit par malveillance : il est reconnu qu'un télégraphe, ainsi mis à la disposition des partis, des voleurs et des hommes

ivres, ne peut être un télégraphe sérieux ; il faudra donc l'enterrer, mais comment et par quel moyen maintiendra-t-on l'isolement du fil ou des fils ? Dans cet ordre d'établissement, tout est à chercher, tout est à trouver, après que maintes fois déjà on a reculé devant les premiers essais en ce genre, à cause des frais et de l'insuccès des travaux.

» Si l'on remonte aux premiers essais en ce genre, on trouve que les conduits étaient placés sous terre, et que ce moyen défectueux fut bientôt abandonné ; que, plus tard, les fils fixés sur terre n'ayant pas donné de meilleurs résultats, on finit par les mettre en l'air, à la hauteur de 6, 8 et 12 pieds du sol, et qu'enfin, dans cette dernière position, ils couraient la chance d'une destruction immédiate en temps d'orage : la foudre attirée par ce long conducteur peut le fondre instantanément dans plusieurs points de son parcours, et cette attraction, augmentée encore par le mouvement des convois, est un danger réel pour les voyageurs, quand bien même ils se trouvent fort éloignés du lieu où l'orage a éclaté. Ce danger positif et redoutable pour les convois et les stations, ne saurait toujours être conjuré, comme on le dit, sur des lignes étendues, par des pointes dominant les poteaux et dont le conducteur insuffisant serait placé nécessairement près du conducteur télégraphique. »

La gravité de ces objections n'est qu'apparente, elles ont été toutes vaincues de fait dans la pratique. Les télégraphes électriques anglais, américains, allemands et français fonctionnent parfaitement par les temps les plus humides, par les temps de brouillards, même dans les cas les plus défavorables, sous les tunnels et ailleurs : l'isolement des fils conducteurs en fer ou en cuivre a été pleinement satisfaisant. Dans le télégraphe construit en Russie par M. Jacobi, les conducteurs cheminent sous terre sur une longueur de plus de sept lieues, et cependant les communications n'ont jamais été interrompues. Nous avons vu à Londres le conducteur qui, dans le magnifique projet de M. Wheatstone, doit être déposé au fond de l'océan, pour unir, à travers la Manche, la France et l'Angleterre : il se compose d'un fil de cuivre de fer central, recouvert d'abord d'une couche épaisse de mastic solidifié, puis d'une enveloppe de plomb que l'action d'une puissante filière a

rendu parfaitement adhérente; et nous affirmons sans crainte aucune que ce merveilleux ensemble, inattaquable à tous les agents imaginables, ne laissera rien à désirer sous le rapport de l'isolement complet et de la conductibilité parfaite.

Sans doute que la foudre pourra frapper quelquefois les poteaux, s'ouvrir un passage à travers les fils conducteurs, les fondre, les brûler; mais ce sont là des accidents de force majeure qu'il faudra subir et qui seront facilement réparés. La foudre aussi pourra renverser et détruire les maisonnettes de M. Gonon, qui sera tristement réduit à les reconstruire avec plus de temps et de dépenses. Tout cela n'empêchera pas le télégraphe électrique de fonctionner avec régularité pendant de longues années; de rendre au gouvernement, à l'industrie et au commerce d'immenses services; de donner même de beaux bénéfices aux actionnaires plus courageux qui auront fait les frais de son établissement.

« 3° Le télégraphe électrique coûte énormément cher à établir. D'après des calculs fort justes, on peut estimer les frais d'établissement pour une ligne de 200 lieues à 4 millions de francs environ, auxquels il faudrait ajouter ensuite les dépenses annuelles pour l'entretien journalier des appareils, le renouvellement des fils au moins tous les deux ans, le traitement des hommes de l'art, le personnel des employés, et pour le nombre considérable des agents de surveillance. La dépense exorbitante de la télégraphie électrique ne serait donc ni justifiée ni compensée par les résultats! »

M. Gonon exagère évidemment; nous dirons bientôt exactement ce que coûte par kilomètre ou par lieue l'établissement d'une ligne de télégraphie électrique. Quant aux frais d'exploitation journalière, ils sont tout à fait insignifiants; le nombre des employés est très minime, leurs appointements sont excessivement restreints; et il faudrait fermer les yeux à l'évidence, pour oser comparer ces dépenses minimes à celles qu'entraîne ou qu'entraînerait le système des lignes télégraphiques anciennes ou construites dans le service perfectionné de M. Gonon. D'ailleurs dans la pensée des créateurs de la télégraphie électrique, l'industrie privée et le commerce sont admis à profiter, sous la surveillance du gouvernement, du bienfait incomparable de ces communications instantanées, et doivent dès lors en supporter presque tous les frais, compensés par des avantages incalculables.

« 4° Nous ferons remarquer, en outre, que l'un des premiers avantages de la correspondance télégraphique, celui de la transmission de la pensée à travers l'espace, *sans agent saisissable*, disparait complétement dans l'emploi des conducteurs de l'électricité. Ces espèces de veines métalliques, parcourues par le fluide, autrement dit, les fils conducteurs, sont exposés forcément, dans leur état de continuité, soit aux influences pernicieuses de l'atmosphère et des lieux circonvoisins, soit aux injures de l'ignorance et de la malignité. Qui ne prévoit pas que ce défi, porté par le pouvoir à la curiosité et à l'obéissance passive du vulgaire, tournera immanquablement à mal dans les cas de mécontentement, de sourdes menées et de révoltes? Croit-on que les complices d'un assassin ou d'un banqueroutier laisseront transmettre l'ordre d'arrêter leur associé? Pense-t-on que l'ennemi, en cas d'invasion, respecterait davantage ce moyen de communication? Non, assurément. L'intérêt des criminels et de tous les partisans de trouble étant de détruire ce qui s'oppose à leurs desseins, il est par trop imprévoyant, de la part du gouvernement, de mettre ses moyens de correspondance à la portée des hommes dangereux. L'engouement inconsidéré du jour peut à peine expliquer ce fait. »

Dans les télégraphes ordinaires, ce n'est pas seulement l'agent de la transmission qui est saisissante, c'est la transmission elle-même Quelque secret que puisse être en lui-même le langage adopté, la trahison ou l'habileté peuvent donner la clef du lexique : un boulet aussi rapide que le ciseau de l'homme malveillant peut détruire en un clin d'œil l'édifice construit sur le plan le plus ingénieux, et rendre impossible, pour de longues heures, toute communication entre les extrémités de la ligne. M. Gonon oublie toujours que les communications souterraines, mystérieuses, insaisissables, ne sont en aucune manière en dehors des moyens actuels de la science, qu'elles seront bientôt, peut-être, les conditions ordinaires des lignes télégraphiques. Nous avouerons, il est vrai, que les complices d'un assassin, d'un banqueroutier, d'un criminel d'État, n'auront pas même la pensée de conjurer contre les lignes de télégraphie anciennes ou perfectionnées par M. Gonon; car ces procédés, fatalement impuissants, ne peuvent, en aucune manière, les arrêter dans leur fuite précipitée, rendue si facile par les chemins

de fer de l'État; mais cette possibilité de conspiration est toute à la louange de la télégraphie électrique. Supposons qu'un accident, qu'une rupture, très possible dans l'état actuel, qui n'est encore qu'un état d'enfance, soit le produit de la malveillance; elle sera réparée dans quelques heures, et, après ces quelques heures, l'électricité, un instant arrêtée dans sa course, s'élancera par bons gigantesques à la poursuite du coupable, vainement rassuré par l'avance que lui donne la vitesse infiniment petite des voies de fer, et il n'échappera pas au châtiment qu'il redoute. Si on appliquait aux rails des chemins de fer, la logique complaisante de M. Gonon, on conclurait par un acte solennel de destruction. Et cependant les chemins de fer sont devenus une nécessité publique.

« 5° Mais en supposant pour un instant que la télégraphie électrique gouvernementale est praticable, et qu'on a trouvé le moyen de s'en servir, il faudrait savoir à quelle époque elle pourra fonctionner. Eh bien, cette époque n'arrivera qu'au bout d'une période de vingt années, alors que tous les principaux chemins de fer seront construits. D'ici là, le gouvernement devra se contenter du télégraphe existant qu'il veut abandonner, après en avoir reconnu l'insuffisance. »

Cette assertion est complétement dénuée de fondement : les lignes de télégraphie électrique, souterraines ou placées au-dessus du sol, sont complétement indépendantes des lignes de chemins de fer.

« 6° La télégraphie électrique coûterait, pour frais d'établissement, au moins 600,000,000 fr. à la France, tandis que la télégraphie aérienne n'exigerait qu'un déboursé de 2,000,000 fr. environ.

» Le gouvernement anglais, qu'on ne taxera pas de parcimonie en ce qui touche à ses intérêts, a dépensé des sommes considérables pour obtenir une bonne télégraphie. Nonobstant ce désir, il s'est bien gardé d'adopter le procédé électrique pour sa correspondance générale. Après avoir suivi avec attention pendant huit années les expériences des savants sur de petites lignes, après avoir fait examiner à fond la question par des commissions compétentes, il a jugé à propos d'abandonner un moyen de communication aussi défectueux aux compagnies de chemins de fer, qui n'ont besoin que de phrases conventionnelles. Quoi qu'il en soit,

ces compagnies n'en retirent qu'un très faible avantage; on peut dire qu'elles l'emploient moins dans un but d'utilité que par un sentiment d'orgueil national. »

Ces dernières affirmations dépassent en audace tout ce qu'il est possible de concevoir. Qui ne croirait, en lisant M. Gonon, que le gouvernement anglais a condamné la télégraphie électrique? et cependant il n'en a rien été. Loin de là, le gouvernement, sur chacune des lignes télégraphiques concédées par lui aux compagnies de chemins de fer ou autres, s'est réservé une série d'appareils exclusivement consacrés à la transmission de ses dépêches. Ces appareils, nous les avons vus fonctionner: grâce à leur emploi, Douvres et Portsmouth sont devenus des faubourgs de Londres. Ce que M. Gonon affirme des compagnies est plus faux encore.

Les administrations des chemins de fer ont souvent reconnu, dans des actes authentiques, en présence des commissaires du Parlement, qu'elles retiraient des télégraphes électriques des avantages très considérables, compensant très largement les dépenses de leur installation: il s'est formé, en Angleterre, une compagnie générale des télégraphes électriques, qui opère déjà sur une échelle immense, et prendra chaque jour de nouveaux développements. En présence de ces faits éclatants, M. Gonon nie ou affirme le contraire de ce que les autres voient et touchent : nous ne savons pas de remède à cet endurcissement profond; nous ne pouvons que plaindre celui qui arrive de sang froid à formuler les conclusions suivantes :

« En résumé, rien de neuf, aucun plan arrêté, pas le moindre résultat d'utilité pratique de la part de la commission; difficulté d'y joindre un vocabulaire plus étendu, lenteur d'expédition de dépêches sérieuses, vérification régulièrement impossible dans la transmission des dépêches imprévues. Le télégraphe électrique, ainsi que nous l'avons dit ailleurs, ne sera jamais qu'un magnifique jouet à l'usage des savants et des princes dans l'intérieur d'un cabinet ou d'un château. La plupart des journaux ont pourtant publié de nombreux articles pour attester que le télégraphe électrique de Paris à Rouen expédie parfaitement bien des dépêches la nuit et le jour. Cette erreur ne doit pas s'accréditer plus longtemps. Que ceux qui l'ont accueillie avec confiance sachent positivement qu'au-

cune communication *imprévue*, *non déterminée à l'avance*, n'a pu être faite par le procédé mis en essai. »

Cette assertion de M. Gonon est une grande fausseté.

« Un dernier mot encore. En Amérique, *dix-huit inventeurs* ont offert aux États-Unis des systèmes télégraphiques différents. Le meilleur de tous était le système électrique de l'illustre physicien Morse. Le gouvernement en fit faire l'essai concurremment avec le mien. Eh bien ! M. Morse se retira de la lutte, parce qu'il reconnut, avec un sentiment rare de modération et d'impartialité, la supériorité de mon procédé aérien. »

La plume ici me tombe des mains, je crois rêver : quoi ! il s'est retiré devant M. Gonon, il a abandonné son système de télégraphie électrique, ce M. Morse, dont l'Amérique est aussi fière que de son Francklin, et qui étale de plus en plus chaque jour le réseau de sa gigantesque correspondance télégraphique ! Cette immense ligne, dont la longueur atteint déjà près de 10,000 kilomètres ! c'est donc une ligne de télégraphie aérienne, système Gonon, puisqu'elle a été construite par M. Morse, et que M. Morse a déposé ses propres armes pour se revêtir de celles de son illustre adversaire. Mais M. Morse cependant, et avec lui l'Amérique, et le monde entier, proclame hautement que la télégraphie réalisée par lui est bien certainement la télégraphie électrique, qu'il n'y a pas aux États-Unis un infiniment petit du télégraphe Gonon. Ce dernier trait suffit à lui seul pour venger pleinement la plus magnifique des inventions des absurdes attaques que nous venons de rappeler. Les prétendues lenteurs des dépêches sérieuses, cette pretendue impossibilité de vérification des dépêches imprévues, ont la même réalité que la retraite phénoménale de M. Morse, enfant mort-né dans le cerveau de M. Gonon.

Nous pouvons, il nous semble, tirer de cette longue discussion les conclusions suivantes : 1° La télégraphie électrique l'emporte évidemment sur la télégraphie aérienne, quelque perfectionnée qu'on la suppose; 2° la langue ou le vocabulaire ont adopté réellement une importance extrême, dans les systèmes où les signaux, comme dans les télégraphes de Chappe et de M. Gonon, sont transmis lentement ; mais, dans la télégraphie électrique, où les signaux se succèdent avec une rapidité extrême, au nombre, par exemple, de 40, 50,

60 par minute : la langue du télégraphe est presque indifférente, à ce point, que le mode alphabétique, le plus arriéré et le plus lent de tous, suffit à tous les besoins du service le plus étendu. Comment pourrait-on essayer de révoquer cette assertion en doute, quand on a vu le télégraphe de Morse transmettre presque un volume dans l'espace de quelques heures? Chaque système de télégraphe électrique a son alphabet particulier que nous indiquerons bientôt ; et tous ces alphabets si divers de Morse, de Wheatstone, de Steinheil, de Jacobi, etc., ont parfaitement servi à la transmission des dépêches. 3° Quand on aura créé une langue parfaite, quand il sera bien démontré, par exemple, que le mode de lexique de M. Gonon ne laisse plus rien à désirer, on arrivera sans difficulté, nous en avons la conviction entière, à faire parler au télégraphe électrique cette langue parfaite, et alors le magnifique problème de la télégraphie électrique sera résolu de la manière la plus complète.

En France, l'administration du télégraphe, qui se trouvait bien du vocabulaire de Chappe, a voulu le conserver : le vocabulaire pouvait être transmis de bien des manières par l'électricité; M. Foy s'est arrêté à l'idée bizarre de reproduire avec les appareils les signaux mêmes de Chappe; ce qui augmente du double le nombre des appareils et des fils de la ligne télégraphique. Pour donner une idée des autres solutions de cette même question, nous insérerons ici une note intéressante, publiée par M. le docteur Dujardin de Lille, avec ce titre : *Télégraphie électro-acoustique, nouvelle nomenclature des signaux de Chappe*. Cette note renferme un grand nombre de données précieuses, et des réflexions critiques que nous adoptons pleinement, parce qu'elles nous semblent fort justes.

« Nous appelons télégraphe électro-acoustique un appareil télégraphique qui est mis en mouvement par l'électricité, et qui produit des sons, que l'on groupe, et que l'on combine méthodiquement en signaux acoustiques.

» L'idée des télégraphes électro-acoustiques n'est pas nouvelle. M. Steinheil, physicien allemand, et M. Jacobi, physicien russe, ont construit, il y a déjà quelques années, des appareils de ce genre. L'appareil que nous allons décrire présente plusieurs dispositions nouvelles et d'un assez haut intérêt sous le point de vue pra-

tique. Nous démontrerons qu'on peut l'employer pour correspondre en conservant les signaux de la télégraphie aérienne, condition essentielle que doivent remplir les télégraphes électriques français, d'après l'opinion de M. Foy, administrateur en chef des lignes télégraphiques.

» Cet appareil consiste en un électro-aimant fixé verticalement sur une tablette. Une lame de ressort de pendule, rectangulaire, de 16 centimètres de longueur et aimantée à saturation, oscille dans un plan horizontal autour d'un pivot soudé à son centre. L'une des extrémités de cette lame d'acier aimantée oscille entre les pôles de l'électro-aimant; l'autre oscille entre deux timbres à l'unisson, qu'elle frappe alternativement, et qu'elle met en vibration. Une roue dentée, faisant tourner un pignon, sur l'axe duquel est fixé un commutateur cylindrique, complète l'appareil.

» Le commutateur a pour fonction, comme son nom l'indique, de changer la direction du courant électrique, et par suite de changer la polarité de l'électro-aimant. A chaque demi-révolution du commutateur, la polarité de l'électro-aimant change, c'est-à-dire que le pôle nord devient pôle sud, et le pôle sud devient pôle nord. Or, comme la polarité de la lame d'acier aimantée reste invariable, il s'ensuit qu'en faisant tourner le commutateur, la lame aimantée est attirée, pendant une demi-révolution, par l'un des pôles de l'électro-aimant, et pendant l'autre demi-révolution par l'autre pôle. A chacune de ces attractions, alternativement en sens contraire, correspond une oscillation de la lame aimantée, et, par suite, un coup de cloche. En faisant tourner la roue dentée d'une quantité angulaire déterminée, on produit un groupe distinct composé d'un nombre déterminé de sons. Ainsi, par exemple, si l'on veut produire un groupe de quatre sons, on fait tourner la roue dentée d'une quantité angulaire telle, que le commutateur qu'elle commande exécute deux révolutions complètes; et trois révolutions et demie, si l'on veut produire un groupe de sept sons. Des chevilles, convenablement espacées sur le pourtour de la roue dentée, permettent d'accomplir ces opérations sans le moindre tâtonnement, sans la moindre hésitation.

» Les sons produits par l'appareil peuvent être perçus à une grande distance.

» On correspond, au moyen du télégraphe électro-acoustique de la manière suivante. Veut-on employer l'appareil pour le service exclusif d'un chemin de fer? On convient d'abord que tous les signaux se composent chacun de deux groupes consécutifs de sons. Or, en admettant dans chacun des deux groupes, depuis un jusqu'à huit sons, on peut, en combinant les nombres deux à deux, obtenir huit fois huit, ou soixante-quatre combinaisons différentes, qui sont autant de signaux. On emploie les trente-six combinaisons les plus simples pour représenter les vingt-six lettres de l'alphabet et les dix chiffres de la numération. Les vingt-huit combinaisons qui restent servent à représenter autant de phrases de convention qu'on change suivant les besoins du service.

» Avant de commencer à transmettre une dépêche, l'employé, chargé de la transmission, tinte d'une manière continue pendant un certain temps, afin d'appeler l'attention de son correspondant. Celui-ci répond de la même manière qu'il est à son poste. Alors, la transmission de la dépêche a lieu.

» L'intervalle de temps qui sépare deux groupes de sons appartenant au même signal, doit être court. L'intervalle qui sépare deux groupes, appartenant à des signaux différents, doit être plus long, afin que l'employé ait le temps nécessaire pour inscrire les signaux qui lui sont transmis.

» Examinons maintenant comment on peut employer le télégraphe électro-acoustique, pour correspondre en faisant usage des signaux de la télégraphie aérienne.

» Disons d'abord en quoi consistent ces signaux, et quels noms on leur donne dans le langage ordinaire de la télégraphie.

» Le télégraphe de Chappe se compose de trois pièces rectilignes et mobiles. L'une de ces pièces, beaucoup plus longue que les autres, et fixée par son centre au sommet d'un mât invisible au loin, se nomme *régulateur*. Les deux autres, d'égale longueur entre elles, et fixées aux extrémités du régulateur, se nomment *idicateurs*, que l'on distingue par les noms de premier et second indicateur.

» Les signaux résultent des positions diverses et relatives que prennent les indicateurs et le régulateur.

» Chacun des indicateurs peut décrire, à l'extrémité du régula-

teur, les trois quarts d'un cercle. En partant d'une extrémité de sa course pour se rendre à l'autre, il prend successivement sept positions utilisées en télégraphie, et qui forment avec le régulateur les angles suivants : angle obtus, angle droit, angle aigu, angle nul ; angle aigu, angle droit, angle obtus. Par conséquent, les combinaisons d'angles, qui résultent du jeu des indicateurs, sont au nombre de sept fois sept ou quarante-neuf.

» Le régulateur prend quatre positions que l'on appelle, en prenant la ligne de l'horizon pour terme de comparaison, perpendiculaire, horizontale, oblique de droite, oblique de gauche.

» Mais, de ces quatre positions, nous devons en retrancher deux, les deux obliques, parce qu'elles ne servent qu'à préparer les signaux. Pendant que les signaux sont à l'oblique, comme on dit, les employés, surtout ceux qui n'ont pas encore une très grande habitude du service, peuvent tâtonner ; ils peuvent modifier et changer les positions des indicateurs. Les signaux ne sont finis que lorsque le régulateur prend la position perpendiculaire ou horizontale. Les signaux des dépêches se préparent tous sur l'oblique de droite. L'oblique de gauche sert à préparer les signaux des inspecteurs, et ceux qui sont à l'usage particulier des employés. Si les employés devaient reproduire les signaux d'emblée, sans préparation, il arriverait souvent que les dépêches seraient altérées par un grand nombre de fautes qui les rendraient inintelligibles.

» Ainsi, 1° les indicateurs prennent chacun sept positions différentes, d'où résultent quarante-neuf combinaisons ; 2° le régulateur prend deux positions différentes, ce qui double le nombre des combinaisons résultant du jeu des indicateurs, et donne un total de quatre-vingt-dix-huit signaux.

» Jetons un coup d'œil sur la nomenclature de Chappe.

» Le régulateur étant à l'oblique, c'est-à-dire dans une position préparatoire, les sept positions des indicateurs, en allant d'une extrémité de leur course à l'autre, prennent les noms suivants : 15 ciel, 10 ciel, 5 ciel, zéro ; 5 terre, 10 terre, 15 terre. Ces noms, qui sont déjà passablement longs, ne sont pourtant que les abréviations des noms suivants : angle de 150 degrés, dont l'ouverture est dirigée vers le *ciel* ; angle de 100 degrés, id. ; angle de 50 degrés, id. ;

angle nul; angle de 50 degrés, dont l'ouverture est dirigée vers la *terre;* angle de 100 degrés, id.; angle de 150 degrés, id.

» Les deux positions du régulateur conservent les noms de perpendiculaire et horizontale.

» Voici l'ordre suivant lequel sont invariablement désignés, dans les noms des signaux, les trois éléments qui les composent : on désigne d'abord la position du premier indicateur; puis la position du second indicateur, et enfin la position du régulateur. Citons quelques exemples : 15 *ciel* 5 *terre horizontal;* 10 *ciel* 10 *terre perpendiculaire*, *zéro* 5 *ciel perpendiculaire*, 15 *terre zéro horizontal*, et ainsi des autres.

» Telle est la nomenclature créée par Chappe, et qui est encore adoptée de nos jours.

» Cette nomenclature est-elle à l'abri de tout reproche? Nous ne le pensons pas. Car, indépendamment de la bizarrerie du langage, ne peut-on pas reprocher, avec quelque raison, à Chappe d'avoir donné à ses signaux des noms beaucoup trop longs? 15 *ciel* 15 *terre perpendiculaire* n'est-ce pas, en effet, interminable?

» Voici la nouvelle nomenclature que nous proposons de substituer à celle de Chappe.

» Nous désignons les sept positions de chacun des indicateurs, dans l'ordre de succession où nous les avons énumérées précédemment, c'est-à-dire les 15 ciel, 10 ciel, 5 ciel, zéro; 5 terre, 10 terre, 15 terre, par les nombres ordinaux : *première*, *seconde*, *troisième*, *quatrième*, *cinquième*, *sixième*, *septième*, et par abréviation *un*, *deux*, *trois*, *quatre*, *cinq*, *six*, *sept*.

» La position perpendiculaire du régulateur s'appelle *première* position, et par abréviation *un;* la position horizontale du régulateur s'appelle *seconde* position, et par abréviation *deux*.

» Ces dénominations, simples, claires et concises, ne sont-elles pas préférables à celles de Chappe? Nous allons présenter quelques exemples de synonymie, d'après les deux nomenclatures, afin que le lecteur puisse décider la question : 5 *terre* 15 *ciel horizontal*, synonyme *cinq un deux;* 10 *ciel zéro perpendiculaire*, synonyme *deux quatre un;* 10 *terre* 15 *terre perpendiculaire*, synonyme *six sept un;* *zéro* 15 *ciel horizontal*, synonyme *quatre un deux*.

» Il est facile de concevoir maintenant comment le télégraphe

électro-acoustique peut servir à transmettre les signaux de la télégraphie aérienne. En effet, nous venons de voir que les signaux de la télégraphie aérienne ont des noms propres qui les distinguent les uns des autres, et que chacun de ces noms est composé de trois nombres abstraits, dont le plus élevé est sept. Par conséquent, tout appareil télégraphique qui permet de grouper facilement des unités, pour former des nombres, quelle que soit d'ailleurs la nature de ces unités, permet de représenter les signaux de la télégraphie aérienne. Or, le télégraphe électro-acoustique permet de grouper très facilement des sons pour former des nombres ; il est donc évident qu'on peut l'employer pour représenter les signaux de la télégraphie aérienne. Le télégraphe aérien *montre* à l'employé qui l'observe des signaux graphiques que celui-ci ne peut fixer dans sa mémoire, qu'en les appelant par leurs noms, c'est-à-dire en les traduisant en *nombres et mots*. Le télégraphe électro-acoustique *fait entendre* à l'employé qui l'écoute les nombres qui composent les noms de ces signaux. Les résultats de ces deux méthodes sont évidemment identiques.

» Une dépêche, écrite en signaux graphiques de Chappe, étant donnée, voici comment on peut la transmettre, au moyen du télégraphe électro-acoustique.

» Contrairement à l'ordre adopté par Chappe, nous désignerons les trois éléments qui composent les signaux dans l'ordre suivant : 1° position du régulateur; 2° position du premier indicateur; 3° position du second indicateur.

» L'employé chargé de transmettre la dépêche, après avoir tinté pour appeler l'attention de son correspondant, lui indique, au moyen de trois groupes de sons : 1° la position du régulateur du premier signal; 2° la position du premier indicateur; 3° la position du second indicateur, et le signal est fini. Il répète cette triple opération pour tous les autres signaux de la dépêche.

» L'employé chargé de recevoir la dépêche, après avoir entendu le premier groupe de sons, trace, sur le registre des signaux, une ligne droite verticale ou horizontale, selon qu'il a entendu un ou deux sons. Cette ligne représente le régulateur. L'employé place alors le bec de sa plume au-dessus de l'extrémité supérieure ou gauche de cette première ligne, et, après l'audition du second

groupe de sons, il trace une seconde ligne formant avec la première un angle déterminé par le nombre d'unités du second groupe; il place alors le bec de sa plume au-dessus de l'extrémité inférieure ou droite de la première ligne, et, après l'audition du troisième groupe de sons, il trace une troisième ligne formant avec la première un angle déterminé par le nombre d'unités du troisième groupe, et le signal est fini. Il procède de la même manière pour écrire tous les autres signaux de la dépêche.

» On voit, par ce qui précède, que notre télégraphe électro-acoustique, qui est d'ailleurs beaucoup plus simple et plus commode que celui qui fonctionne sur la ligne de Rouen, permet de conserver les signaux et le vocabulaire de la télégraphie aérienne, et que, par conséquent, il satisfait pleinement aux conditions exigées par M. Foy, administrateur en chef des lignes télégraphiques.

» Examinons maintenant jusqu'à quel point le télégraphe électrique qui a été adopté pour la ligne de Rouen satisfait à ces conditions.

» Cet appareil, dont l'idée première appartient à M. Foy, et qui a été construit par M. Breguet, consiste en une petite caisse fermée qui contient deux électro-aimants et des rouages d'horlogerie, et sur l'une des faces de laquelle on voit un petit télégraphe qui représente assez bien, en apparence, le télégraphe aérien, mais qui, au fond, en diffère essentiellement. En effet, le télégraphe aérien se compose, comme nous l'avons dit, de *trois pièces mobiles*, le régulateur et les deux indicateurs. Du jeu des indicateurs, qui prennent chacun sept positions diverses aux extrémités du régulateur, résultent quarante-neuf combinaisons graphiques, qui peuvent être vues sous deux aspects tout différents, suivant que le régulateur est vertical ou horizontal. De là deux fois quarante-neuf ou quatre-vingt-dix-huit signaux dans la télégraphie aérienne. Le télégraphe électrique de MM. Foy et Breguet ne possède que *deux pièces mobiles*, les indicateurs. Le régulateur, qui n'existe que pour la forme, est *fixe* dans la position horizontale, au lieu d'être mobile autour de son centre. Ce régulateur ne peut donc pas servir, comme le régulateur du télégraphe aérien, à doubler le nombre des combinaisons qui résultent du jeu des indicateurs. Le télégraphe électrique de M. Foy reproduit très bien les quarante-neuf signaux du télé-

graphe aérien, dans lesquels le régulateur est horizontal ; mais il ne peut reproduire un seul des quarante-neuf autres signaux, dans lesquels le régulateur est vertical.

» Cet appareil, que les personnes peu versées dans l'art de la télégraphie peuvent trouver parfaitement conforme au télégraphe aérien, mais qui en diffère à ce point qu'il ne peut reproduire que la moitié de ses signaux, permet-il de conserver le vocabulaire de la télégraphie aérienne ? Personne n'oserait l'affirmer. Quelle que soit la signification des quarante-neuf signaux qu'il ne reproduit pas, il est évident que leur suppression a dû nécessairement rendre impossible l'usage de ce vocabulaire. Ainsi, le principal motif que M. Foy a fait valoir en faveur de l'adoption de son système n'est nullement fondé.

» Notre télégraphie électro-acoustique, qui permet de transmettre la totalité des signaux du télégraphe aérien, remplit donc le but que l'on désire atteindre d'une manière plus complète que le télégraphe de M. Foy.

» Le télégraphe électro-acoustique, d'ailleurs, fonctionne au moyen d'un seul fil conducteur, tandis que le télégraphe de M. Foy exige l'emploi de deux fils, un fil pour faire mouvoir chacun des indicateurs. Cette différence est assez importante au point de vue de l'économie, car elle permettra de réaliser, sur l'établissement successif de toutes les grandes lignes de France, une économie de plusieurs millions.

» M. Foy a cherché à faire valoir en faveur de son système cette autre considération : les manivelles qui servent à fermer et à ouvrir le circuit électrique, et par suite à faire mouvoir le mécanisme du télégraphe de la ligne de Rouen, étant disposées de la même manière que celles qui servent à faire mouvoir les indicateurs du télégraphe aérien, l'administration des télégraphes trouvera dans les employés de la télégraphie aérienne un personnel *tout façonné* pour faire fonctionner les télégraphes électriques.

» Cette considération, qui tout d'abord paraît assez admissible, est-elle réellement fondée ? Nullement. Car il ne suffit pas, pour remplir les fonctions délicates d'employé de la télégraphie électrique, de savoir faire tourner convenablement des manivelles. Il faut avant tout posséder des connaissances assez étendues en électricité

théorique et pratique, connaissances qui ne s'acquièrent pas en un jour. D'ailleurs, en ne considérant même que le jeu des manivelles, nous disons que les employés de la télégraphie aérienne ne sont pas aptes à faire fonctionner les télégraphes électriques de M. Foy. Car les indicateurs de ces appareils tournant toujours dans le même sens, on est obligé de faire tourner les manivelles qui règlent les mouvements de ces indicateurs toujours dans le même sens. Dans le télégraphe aérien, au contraire, les indicateurs ne pouvant pas décrire un cercle complet, et tournant pour cette raison, tantôt dans un sens, et tantôt dans le sens opposé, on est obligé de faire tourner les manivelles qui règlent les mouvements de ces indicateurs, tantôt dans un sens pour produire des angles à ouverture dirigée vers le *ciel*, et tantôt dans le sens opposé pour produire des angles à ouverture dirigée vers la *terre*. Par conséquent, les employés de la télégraphie aérienne, loin d'être *tout façonnés* pour faire fonctionner les télégraphes électriques, entraînés par la force de l'habitude, commettraient beaucoup plus d'erreurs que les employés *façonnés de la veille*.

» Ainsi, les deux motifs de préférence que M. Foy a fait valoir en faveur de son système n'ont aucune espèce de fondement.

» Considérons maintenant les télégraphes électriques d'une manière générale, et posons cette question : les télégraphes qui écrivent eux-mêmes les dépêches, ne sont-ils pas préférables aux télégraphes qui ne produisent que des signaux fugitifs, optiques ou acoustiques, qu'il faut saisir pour ainsi dire à la volée?

» Les télégraphes qui produisent des signaux fugitifs exigent de la part de l'employé qui reçoit une dépêche une très grande attention. La plus légère distraction est une cause d'erreur. De plus, si l'on veut correspondre avec une certaine célérité, le concours de deux employés est absolument nécessaire. L'un des deux employés *guette* ou *écoute* les signaux qui lui sont transmis, et les dicte à l'autre, qui est chargé de les inscrire. Cette double transmission des signaux, de l'appareil au premier employé, et de celui-ci au second, est nécessairement une double source d'erreurs.

» Pour faire fonctionner les télégraphes qui écrivent eux-mêmes les dépêches, un seul employé suffit à chaque station, et les fonctions de cet agent sont aussi faciles et agréables que celles des au-

tres sont assujettissantes et pénibles. Lorsque l'employé a disposé convenablement son appareil, il peut vaquer, pendant la transmission de la dépêche, à une occupation quelconque ; il peut même s'absenter ; à son retour, il trouve la dépêche écrite. Lorsque l'on emploie les télégraphes qui écrivent les signaux, l'erreur est impossible, à moins qu'elle provienne du fait de l'employé qui a transmis la dépêche. Mais ce genre d'erreur est commun à tous les télégraphes, électriques ou autres, et même à tous les modes possibles de correspondance.

» Indépendamment des causes d'erreurs qui sont propres aux télégraphes à signaux fugitifs, et qui proviennent de la faillibilité des sens des employés, il en existe une autre, beaucoup plus dangereuse, et qui est inhérente au mécanisme des appareils eux-mêmes Ceci demande, pour être bien compris, quelques explications que nous allons donner.

» Tout télégraphe électrique se compose d'un électro-aimant et d'une pièce mobile, à laquelle l'électro-aimant imprime des mouvements alternatifs de *va-et-vient*. Parmi les auteurs de télégraphes électriques, les uns ont cherché à utiliser directement ces mouvements de va-et-vient, pour produire des signaux qu'ils ont obtenus, soit en frappant des timbres par différents procédés, soit en traçant des caractères permanents sur du papier ou sur une glace dépolie, à l'aide d'un poinçon, d'un crayon ou d'une plume. Les autres ont transformé les mouvements alternatifs du premier mobile en un mouvement circulaire toujours de même sens, au moyen d'un rochet et d'un encliquetage, ou d'un échappement et de rouages d'horlogerie, et ont produit des signaux en faisant tourner soit un cadran présentant des lettres sur son pourtour, soit une aiguille, soit enfin un indicateur du télégraphe aérien. De là deux genres de télégraphes parfaitement distincts, et qu'on peut appeler les uns *télégraphes à mouvements simples*, et les autres *télégraphes à mouvements composés*.

» Dans les premiers, les signaux sont complétement indépendants les uns des autres. Une erreur, introduite dans un signal par un mouvement irrégulier du premier mobile, et causée par la maladresse de l'employé qui transmet la dépêche, n'influe en aucune manière sur les signaux suivants, et n'entraîne pas à la suite de ce signal une série de signaux tous entachés d'erreur.

» Dans les seconds, au contraire, comme chaque dent de la roue d'échappement représente un signe particulier, une lettre de l'alphabet ou un élément des signaux du télégraphe aérien, il s'ensuit que le plus petit dérangement dans la marche de cette roue jette de la perturbation dans toute la correspondance. Ainsi, supposons qu'un appareil soit disposé de manière qu'il faille faire échapper dix dents pour produire un signal, la lettre L, par exemple; si, par un désordre momentané dans les oscillations du premier mobile, il ne s'en échappe que neuf, le signal indiqué, au lieu d'être la lettre L, sera la lettre K, et, comme tous les signaux suivants seront nécessairement en retard d'une case, il est évident que l'appareil, au lieu d'indiquer LILLE, par exemple, indiquera KHKKD, et ainsi de suite.

» Aussi est-on obligé, lorsqu'on fait usage des *télégraphes à mouvements composés*, de ramener la roue d'échappement, après un nombre convenu de signaux, à une position déterminée, qui est le point de départ.

» A cette occasion nous dirons qu'ayant été admis, le 18 mai 1845, à faire fonctionner notre télégraphe qui écrit les dépêches, sur la ligne de Rouen, en présence de la commission des télégraphes électriques et des administrateurs des chemin de fer de Saint-Germain et de Rouen, nous avons vu fonctionner les télégraphes de MM. Foy et Bréguet, de la manière suivante : après chaque signal on ramenait les indicateurs à leurs points de départ, afin d'éviter le genre de fautes que nous venons de signaler, c'est-à-dire les fautes en séries, ce qui aurait été très disgracieux dans une circonstance aussi solennelle. M. Foy espérait alors arriver peu à peu à ne devoir plus régler ses appareils qu'après chaque série de quarante ou cinquante signaux. Nous ignorons si cet espoir s'est réalisé. Quoi qu'il en soit, en admettant qu'on ne règle les appareils qu'après chaque série de cinquante signaux, si, par hasard, le premier signal d'une série est faux, toute la série sera nécessairement fausse.

» On voit, par ce qui précède, qu'on peut classer les télégraphes électriques, d'après les chances d'erreur auxquelles ils exposent, dans l'ordre suivant: 1° télégraphes qui écrivent les dépêches: aucune chance d'erreur; 2° télégraphes acoustiques : chances d'er-

reur provenant du défaut d'attention des employés; 3° télégraphes à cadran, etc.: chances d'erreur provenant du défaut d'attention des employés, et chances d'erreur provenant des mécanismes des appareils.

» Le télégraphe que l'on a adopté pour la ligne de Rouen, et que l'on a le projet d'installer successivement sur toutes les lignes de France, appartient à la troisième classe.

» Nous devons ajouter que les télégraphes de la troisième classe ne peuvent fonctionner avec quelque régularité que lorsqu'ils sont dirigés par des hommes intelligents et très habiles. Aussi M. Foy a-t-il pris le soin de s'entourer d'un personnel d'élite, composé de jeunes savants sortis de l'École polytechnique et d'un artiste dont le haut talent n'est contesté par personne. Les télégraphes des deux premières classes n'exigent pas, il s'en faut de beaucoup, un personnel aussi distingué.

» Il ne nous reste plus maintenant qu'à faire voir qu'on peut employer les télégraphes qui écrivent les dépêches, pour correspondre en faisant usage des signes graphiques de la télégraphie aérienne.

» Nous avons prouvé précédemment que tous les télégraphes électriques qui permettent de grouper des unités pour former des nombres, permettent, par cela même, de correspondre en conservant les signaux de la télégraphie aérienne. Or, tous les télégraphes qui écrivent les dépêches permettent de grouper les uns des points d'encre ou de timbre sec, et les autres des traits en zigzag; ils permettent tous, par conséquent, de correspondre en conservant les signaux de la télégraphie aérienne.

» Quant à la méthode pratique, que l'on doit suivre, pour transmettre et recevoir une dépêche écrite en signaux de la télégraphie aérienne, il faut se conformer de tout point à ce qui a été dit en parlant du télégraphe électro-acoustique. Ainsi, l'employé qui transmet une dépêche indique chaque signal à son correspondant, au moyen de trois groupes de points ou de traits en zigzag; et celui-ci, en voyant ces groupes tracés sous ses yeux par le télégraphe, écrit sur le registre des signaux les signes graphiques de la télégraphie aérienne, dont ces groupes lui indiquent les noms. Le premier groupe lui indique la position du régulateur, le second groupe la position du premier indicateur, et le troisième groupe la position du second indicateur.

» Les télégraphes qui écrivent les dépêches au moyen de groupes de points offrent l'avantage de pouvoir tracer des lignes droites, auxquelles on convient de ne donner aucune signification, et qui servent à séparer nettement les signaux les uns des autres. A l'aide de ces lignes, qu'on peut appeler *traits de séparation*, l'œil distingue de suite et d'une manière sûre où commence un signal et où il finit. Les télégraphes qui écrivent les dépêches au moyen de groupes de traits en zigzag n'offrent pas le même avantage.

» Enfin, tous les télégraphes qui écrivent les dépêches fonctionnent, comme le télégraphe électro-acoustique, au moyen d'un seul fil conducteur.

» Nous croyons avoir suffisamment démontré que les télégraphes électriques qui écrivent les dépêches sont préférables aux télégraphes électriques qui ne produisent que des signaux fugitifs. Mais, parmi les différents systèmes qui écrivent les dépêches, quel est le plus parfait ? Voilà la question pour la solution de laquelle nous avons manifesté le vœu, dans une pétition adressée à la chambre des députés, d'obtenir l'ouverture d'un concours d'appareils télégraphiques.

» Puisqu'en France la télégraphie est interdite, et que l'État s'en réserve le privilége exclusif, ne serait-il pas juste et conforme au principe de nos institutions d'ouvrir un concours de télégraphes électriques, et de choisir pour juges les savants les plus compétents, afin de soustraire les inventeurs d'appareils à la juridiction despotique de l'administration des télégraphes, qui paraît décidée à ne vouloir adopter que ses propres œuvres ? »

§ III.

DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE CONSIDÉRÉE DANS SES RAPPORTS AVEC LES CHEMINS DE FER.

M. Coocke, l'associé infatigable de M. Wheatstone, a publié sous ce titre : LES VOIES DE FER TÉLÉGRAPHIQUES, *ou les Lignes de fer à voie unique recommandées sous le triple rapport de la sûreté, de l'économie, et du trafic étendu qu'elles peuvent acquérir avec le secours et le contrôle du télégraphe électrique*, une brochure importante que nous analyserons rapidement.

Le but que l'auteur veut atteindre est exprimé dans ces quelques mots :

1° Arriver à écarter des chemins de fer les dangers qu'ils présentent, et donner au trafic, dont ils sont l'instrument, toute la perfection, la rapidité et l'étendue possible, et cela par des moyens qui ne coûtent guère plus que les moyens actuels. 2° Combattre efficacement les objections faites contre les chemins à simple voie, en leur assurant la sûreté et la facilité de parcours que l'on n'a obtenues jusqu'ici que sur les chemins à double voie.

On peut admettre que la sécurité et le trafic ont atteint, sur les grandes lignes anglaises, toute la perfection à laquelle des moyens d'ordre ordinaires permettaient d'aspirer; que si la vigilance et la ponctualité qui doivent présider aux départs et aux arrivées des convois sont ce qu'elles peuvent, ce qu'elles doivent être, les catastrophes seront presque impossibles, la circulation des transports ne laissera rien à désirer.

Or, cette vigilance et cette ponctualité d'ailleurs seraient grandement accrues, évidemment, si l'on se trouvait en état de voir en un moment, d'un seul coup d'œil l'ensemble de tous les convois, le lieu que chacun d'eux occupe sur la ligne, à un instant quelconque; alors la chance d'une collision serait la plus petite possible. Si le moyen par lequel on réalisera cette vue simultanée d'une longue voie de fer n'entraîne que des dépenses minimes, les administrations des chemins de fer devront au public, et se devront à elles-mêmes de le mettre en usage, tant pour entourer de toutes les sécurités possibles la vie des voyageurs, que pour éloigner à jamais ces terreurs paniques qui nuisent plus qu'on ne pense aux intérêts des compagnies.

Nécessaires même pour les chemins à double voie, ces avantages sont requis beaucoup plus impérieusement encore pour les parcours où à cause des difficultés du terrain et des limites restreintes du trafic, il devient impossible d'établir une double voie sans compromettre le succès de l'entreprise au point de vue financier; il arrive chaque jour qu'on soit obligé de construire des chemins de fer à voie unique, comme prolongement surtout des lignes principales.

Mais par quel moyen arrivera-t-on à réaliser cette sécurité absolue? Une voiture ordinaire chemine avec sûreté sur une route,

même étroite; car si une seconde voiture veut la devancer, elle peut s'arrêter brusquement pour faire place, et elle peut prendre à droite ou à gauche pour éviter l'équipage qui vient à elle de front. Il n'en est pas ainsi d'un convoi sur les chemins de fer; la vitesse excessive, le peu d'adhérence des roues à la voie, et surtout l'impossibilité absolue de quitter la ligne droite qu'il suit, exigent que le conducteur de la locomotive soit averti longtemps d'avance de l'arrivée des trains qui précèdent ou qui suivent, afin qu'il puisse épuiser peu à peu, par l'action renversée de la vapeur et la pression des freins, la vitesse acquise du convoi.

Cette inflexibilité de la progression sur les voies de fer entraîne, par sa nature même, la possibilité d'une collision. On cherche à l'éviter sur les chemins à double voie, en faisant en sorte que deux convois ne se rencontrent jamais sur une même voie; sur les autres, en mettant entre les départs un intervalle de temps suffisant; mais une foule de circonstances, qu'il serait trop long d'énumérer, déjouent les précautions les plus minutieuses, et de nouveaux accidents viennent prouver chaque jour l'inefficacité des moyens actuels. Et cependant, comme le disait la commission des chemins de fer de la Chambre des communes en Angleterre : Ce qu'il faut dans les chemins de fer, c'est, non pas une sécurité relative, mais une sécurité absolue ; le public est en droit d'exiger le plus haut degré possible de sûreté, et l'on serait mal venu à lui dire qu'il n'a pas le droit de se plaindre, sous prétexte que de fait, les accidents sur les voies de fer ne surpassent, ni en nombre, ni en gravité, les accidents inhérents aux routes ordinaires.

Ces quelques réflexions prouvent assez qu'il fallait nécessairement établir sur les voies de fer d'autres régulateurs que les chronomètres, et la prudence du mécanicien; aussi, presque dès l'origine, on eut recours à des procédés télégraphiques pour signaler les convois à la plus grande distance possible, et indiquer aux conducteurs l'état actuel de la voie.

Mais la télégraphie électrique pouvait seule remplir parfaitement le but; l'électricité, qui se meut avec une vitesse infiniment supérieure à celle des chemins de fer, pouvait seule, en devançant les convois par bonds immenses, assigner à chaque instant leur position et la rapidité de leur marche. Seule, quelque petit que soit l'in-

tervalle de deux stations, elle peut signaler à temps la présence d'un convoi dans cet intervalle; de telle sorte qu'un autre convoi, prévenu de cette présence, s'arrête à la station et attende le passage du premier convoi. De cette manière, toute collision, toute rencontre devient impossible, même sur un chemin à simple voie.

Pour mieux faire comprendre cette vérité essentielle, développons avec quelques détails, le plan d'un chemin de fer à simple voie, mais avec la télégraphie électrique. M. Coocke prend pour application de son système le chemin de fer connu en Angleterre sous le nom de Midland-Counties-Eisenbahn, qui se relie au chemin de Londres à Birmingham, ainsi qu'à plusieurs autres chemins de fer du nord; et qui, soit par la masse de ses transports, et le nombre de ses embranchements, présente un service particulier d'une excessive irrégularité. Le premier pas à faire, pour simplifier et régulariser autant que possible l'exploitation d'un chemin de fer, c'est de le partager en sections de cinq à huit lieues, et d'établir sur chaque section des stations séparées entre elles par des distances d'une à deux lieues : c'est ce qui a lieu de fait sur la plupart des chemins actuels. Le chemin de fer de Midland-Counties a à peu près 50 milles de longueur, et il est naturellement partagé en trois grandes sections : la section nord de Derby à Longhborough a 17 milles, la section moyenne de Longborough à Leicester a 13 milles; la section sud de Leicester à Rugby est de 20 milles. La section nord est partagée par les stations actuelles en trois sous-sections; la section du milieu en trois; la section sud aurait cinq divisions, si l'on ajoutait, comme il est nécessaire, une station spéciale d'évitement entre Ullestrope et Rugby. Chacune des trois grandes sections, quoique liée étroitement aux deux autres, peut être considérée en elle-même comme un chemin de fer spécial. Cela posé, voici ce que devra être l'ensemble complet de télégraphie électrique appliqué à cette ligne, en admettant que l'élément de chaque appareil soit, comme à Blackwall, une simple aiguille déviée à droite ou à gauche par le passage du courant, et un timbre ou alarme.

Section du nord.—De Derby à Longhborough : chacune des cinq stations, Derby, Borrowash, Sawley, Kegworth, Longhborough, est pourvue d'un appareil télégraphique composé de cinq aiguilles

inscrites sous les noms de ces mêmes stations, et d'un timbre ou réveil : si l'on incline l'une quelconque des manivelles à droite ou à gauche, c'est-à-dire si l'une quelconque des aiguilles est déviée à droite ou à gauche, toutes les aiguilles, portant le même nom de station, sont déviées de la même manière.

SECTION DU MILIEU. — De Longhborough à Leicester : en outre de l'appareil à cinq aiguilles que nous y avons déjà placé, Longhborough, reçoit et partage avec chacune des trois autres stations, Sileby, Syston, Leicester, un nouvel appareil à quatre aiguilles, portant les noms des stations Longhborough, Sileby, Syston, Leicester, et un alarme : ici, comme précédemment, comme toujours, les aiguilles de même nom s'inclinent toutes dans le même sens.

SECTION DU SUD. — De Leicester à Rugby : en outre de l'appareil à quatre aiguilles dont elle est déjà pourvue, la station de Leicester reçoit, avec chacune des cinq autres stations, Wigston, Broughton, Ullestrope, Siding et Rugby, un nouveil appareil de cinq aiguilles portant les noms des stations de la section et un alarme. En général donc, chaque station est pourvue d'un appareil à autant d'aiguilles qu'il y a de stations dans la section dont elle fait partie, à l'exception de la première et de la dernière station de toute section intermédiaire qui sont pourvues de deux appareils ayant l'un autant d'aiguilles qu'il y a de stations dans la section qui précède, l'autre autant d'aiguilles qu'il y a de stations dans la section qui suit : et toutes les aiguilles qui, sur la ligne, portent un même nom, liées entre elles par un même fil, déviées par un même courant, sont constamment parallèles et dirigées dans le même sens, verticalement, à droite ou à gauche.

Si l'un des gardiens du télégraphe, celui de Longhboroug, par exemple, a besoin de correspondre avec un autre gardien, celui de Leicester, par exemple, il n'emploie que sa propre aiguille et celle de son correspondant. S'il veut agir sur le télégraphe de son correspondant, il fait d'abord sonner le timbre d'alarme ; puis, en même temps qu'il donne un signal, il annonce d'où vient le signal. Après ces préliminaires, les deux employés correspondent l'un avec l'autre au moyen de leurs deux aiguilles, comme ils le feraient avec un seul appareil à deux aiguilles, c'est-à-dire qu'ils peuvent se transmettre toute espèce de dépêches. Les doubles appareils, placés aux

stations extrêmes des sections intermédiaires, fournissent évidemment le moyen de transmettre à toute l'étendue de la ligne une nouvelle qui, sans cela, ne circulerait quo dans la section.

Voyons maintenant comment, après cette installation facile d'appareils télégraphiques, on pourra diriger parfaitement la marche des convois sur le chemin de fer. Suivons, par exemple, dans sa marche, un extra-train, un train inattendu, en dehors du service habituel, et qui doit aller de Derby à Ruyby. Quelques minutes avant que le train sorte de Derby, le surveillant fait sonner le timbre d'alarme de Borrowash. Puis, tournant vers la gauche la manivelle de Derby, il fait dévier vers la droite toutes les aiguilles qui portent sur la section le nom de Derby : il fait ainsi connaître au surveillant de Borowash, et aux surveillants de toutes les autres stations, qu'un train sur le point de partir attend seulement que la voie soit libre. Si la voie est libre en effet, le gardien de Borrowash, en tournant à son tour sa manivelle à gauche, fait dévier à droite toutes les aiguilles qui portent le nom de sa station ; cette correspondance est l'affaire d'un clin d'œil. Quand tout est prêt, le surveillant donne l'ordre du départ, et aussitôt que le train se met en mouvement, il ramène sa manivelle et par suite son aiguille à la position verticale ; et toutes les aiguilles Derby de la section, en revenant à cette même position, indiquent qu'un train, parti de Derby, se trouve entre Derby et Borrowash. Par cette annonce anticipée, le gardien de Sawley est en mesure de transmettre au gardien de Borrowash le signal *Hinzug*, *marchez*, pour que celui-ci puisse indiquer au train qui s'approche que la voie est libre et qu'il peut poursuivre sa route. Comme la distance entre Derby et Borrowash est de quatre milles, le train met à peu près huit minutes à la franchir ; et ces huit minutes sont un espace de temps suffisant pour qu'en cas de négligence du gardien du Sawley, le gardien de Borrowash puisse exciter son attention en sonnant sa cloche d'alarme, lui demander si la voie est libre, et recevoir la réponse avant l'arrivée du convoi. Bientôt on voit le train arriver à Borrowash ; s'il ne doit pas s'arrêter à cette station, on donne au conducteur le signe ordinaire de continuer sa route. En même temps, le gardien du télégraphe ramène sa manivelle à la position verticale, toutes les aiguilles Borrovash redeviennent verticales et annoncent

qu'un train en marche sort de Borrowash et se trouve sur la route de Sawley : on continue de la même manière, tant que la route est libre.

Avant que le train atteigne la dernière station de la section nord, un signal, parti de Longhborough vers Leicester, annonce à toute la section du milieu qu'un convoi va partir tout à l'heure ; comme Leicester reçoit, en même temps que Longhborough, la nouvelle de l'arrivée d'un convoi, et que les deux arrivées sont séparées par l'intervalle d'une demi-heure au moins, on a, comme on le comprend facilement, tous le temps nécessaire pour ranger les wagons de bagage, qui pourraient se trouver sur la voie. Les surveillants de la section ont aussi le temps de déterminer le lieu où les convois, qui vont au-devant l'un de l'autre, doivent s'éviter mutuellement. Pour procéder dans ce cas avec régularité, on doit à l'arrivée du convoi dans la station intermédiaire fixer sur la feuille de route la station à laquelle il doit d'abord s'arrêter, pour attendre que l'autre soit passé : quand le choix est fixé, on expédie par le télégraphe à la station dont il s'agit l'ordre de s'arrêter. Si par un accident quelconque l'un ou l'autre des convois était en retard, on modifierait par le moyen du télégraphe l'ordre primitivement donné, en désignant à l'aide de la feuille de route la nouvelle station d'arrêt.

Supposons qu'entre Sileby et Syston il y a quelques wagons de marchandises ; que la permission de les laisser sur la voie a été demandée aux stations de la section à peu près dans ces termes : Des wagons de marchandises devraient rester sur la ligne entre Sileby et Syston de 2 à 5 heures ; et que les gardiens aient indiqué cette circonstance par le mouvement de leurs manivelles. L'extra-train que nous suivons dans sa course, venant à demander tout à coup que la voie soit libre plus tôt, on répond à cette exigence en envoyant par le télégraphe à Leicester la dépêche suivante : on fera suivre aux wagons de marchandise la voie latérale pour les faire entrer dans la gare d'évitement, et cela fait on signalera que la voie est libre. Dans le cas où quelque autre empêchement se présenterait, où une catastrophe, par exemple, aurait jeté sur la voie un convoi dont la présence n'aurait pas pu être signalée à temps, les autres trains continueront leur route, comme à l'ordinaire, jusqu'aux stations voisines, et aussitôt que le télégraphe aura annoncé leur arrivée ; avertis, ils s'avanceront jusqu'au point où les

embarras existent, pour continuer définitivement leur route, après avoir échangé leurs passagers.

Revenons à l'extra-train, que nous pouvons supposer arrivé à Leicester : avant qu'il ne s'engage dans la section sud, on écrit sur la feuille de route qu'il rencontrera un autre train à Broughton, et qu'il le passera. Les deux trains ont donc reçu le même ordre et s'avancent l'un vers l'autre. Lorsque le train qui va s'approche de Wigston, le surveillant de cette station, qui a été prévenu d'avance que la voie vers Brougton est libre, donne la permission de s'avancer ; et dès que le convoi a passé, ramène de nouveau sa manivelle à la position verticale ; ce qui entraine, ainsi que nous l'avons déja indiqué, la cessation de son signal ; on donne de la même manière au convoi qui vient l'autorisation de s'avancer vers Ullestrope, et les deux trains s'approchent en sens contraire vers Broughton, lieu de leur croisement.

Il suffira de quelques mots pour expliquer les signaux qui font obtenir ce résultat. Pour ce qui regarde notre extra-train, dès que, comme à l'ordinaire, le gardien de Broughton a connu, par la cessation du signal de Leicester, que le convoi se trouvait sur la voie entre Leicester et Wigston, il donne le signal d'avancer ; et ce signal, dans les cas ordinaires, persiste, sur l'appareil Broughton, juqu'à ce que ce convoi approche de Broughton. Dans le cas actuel, le gardien de Broughton aurait à donner à la fois les deux signaux : *Hinzug*, marchez ; *Herzug*, venez ; et pour cela il se sert momentanément de sa manivelle pour annoncer dans ces deux directions que la voie est libre, et que les rails d'évitement seront prêts à recevoir les deux trains qui vont se rencontrer. Aussitôt que le gardien de Wigston a donné le signal Wigston, le gardien de Broughton repète immédiatement le même signal Wigston, comme indication, que le train qui vient de Derby n'est pas encore arrivé à Broughton. Le signal *Herzug*, venez, sera reproduit de la même manière sur la section d'Ullestrope. Aussitôt que les deux trains se trouvent aux stations voisines de Broughton, les sections de Wigston et d'Ullestrope font connaitre qu'ils ne se sont pas encore atteints, on envoie à Broughton le signal *arrêtez*, *Halt*, et les trains, en arrivant, circulent sur les rails de croisement qui leur étaient respectivement destinés. Maintenant, quand le gardien

de Broughton cesse les signaux aux stations des sections de Wigston et d'Ullestrope, il fait entendre par là que les trains sont prêts à continuer leur route, et il fait aussitôt sonner les timbres d'alarme de Wigston et d'Ullestrope. Il ramène ensuite les manivelles à la position verticale. Les deux trains se trouvent alors dans le même cas que s'ils étaient prêts à partir d'une station extrême, et l'on transmet aux stations voisines les signaux déjà décrits de la même manière qu'on l'a fait au commencement du voyage.

Il serait inutile de suivre plus loin l'extra-train, car toutes les difficultés ont été examinées, et il ne peut survenir aucun obstacle qui ne soit levé sur-le-champ par les moyens énumérés.

Si, par une cause quelconque, on ne pouvait pas obtenir de réponse d'une certaine station, on enverra un signal à travers cette station aux stations voisines; après qu'on aura par là acquis la certitude qu'aucun autre train ne se trouve sur la voie dans l'intervalle à parcourir, on permettra au convoi de s'avancer avec précaution vers la station qui est restée muette; et le conducteur après s'être assuré de la cause du silence, signalera par le télégraphe son arrivée et son départ.

Suivant la règle universellement adoptée sur les chemins à double voie, on donne au convoi qui arrive le signal de continuer sa route sans l'obliger à s'arrêter. Il est très nécessaire, sur les chemins à simple voie : 1° qu'aucun train ne quitte la station sans avoir reçu un ordre spécial et positif; 2° que l'état de repos de l'indicateur de la station soit regardé comme constatant un danger, et nullement comme un signal de sécurité; 3° que par conséquent aucun convoi ne s'avance vers une station sans qu'un signal particulier ait expressément indiqué que tout est prêt pour le recevoir : il n'y aura ainsi aucun danger à redouter, alors même que le gardien, effrayé du péril, aurait perdu la présence d'esprit nécessaire pour donner le signal d'arrêt. Le télégraphe à cadran, muni de chiffres, éclairé pendant la nuit, suffira pleinement à ces indications.

Avec ces précautions, chaque train pourra, si l'on veut, devenir un extra-train; avec cette seule différence, que les trains ordinaires se croisent et s'évitent dans des stations fixes et déterminées une fois pour toutes; tandis que pour les trains extraordinaires, comme pour les trains ordinaires en retard, le croisement et l'évi-

tement ont lieu sur des points fixes dans chaque cas particulier sur la feuille de route.

Les croisements de voies sont l'affaire des ingénieurs : il est très important qu'ils soient tels, que le convoi faisant mouvoir lui-même la voie d'évitement prenne toujours sa droite, et que s'il s'est fourvoyé, sa vitesse soit éteinte, soit par des appareils accessoires à tampons ou à ressorts, soit parce qu'on l'oblige à gravir un plan incliné à fortes pentes.

Si l'on a bien saisi les détails dans lesquels nous venons d'entrer, on comprendra sans peine qu'à l'aide du télégraphe électrique, les chemins à simple voie, qui sont souvent une nécessité, comme dans les pays accidentés, peuvent sous le rapport de la sécurité et de l'étendue du trajet, rendre les mêmes services, avec beaucoup moins de dépenses, que les chemins actuels à double voie sans télégraphe. La confiance publique renaîtra, et cette confiance est une nécessité première : le comité des chemins de fer en Angleterre a constaté que l'arrivée d'un accident grave avait causé à la compagnie une diminution, dans les recettes, de 250,000 fr., que le nombre des passagers avait diminué de 10,000, ce qui est considérable, et aurait payé largement les frais d'établissement et d'entretien du télégraphe électrique. Ajoutons que cet accident entraîna la compagnie en question à des dépenses énormes pour le renouvellement et l'amélioration de son matériel.

Le télégraphe électrique a encore d'autres avantages, il réveille et excite l'attention des employés de la voie ; ils ne pourraient négliger un instant leur service sans être pris immédiatement en flagrant délit. Comme alors aussi tout accident, tout retard est signalé à l'instant, les passagers qui attendent échapperont à ces longues heures d'impatience qui étaient pour tous un véritable supplice.

Les perfectionnements que nous venons de développer ne sont plus une utopie, le télégraphe électrique a été appliqué en Angleterre sur un grand nombre de chemins de fer, et partout il a rendu de la manière la plus efficace les immenses services qu'on en attendait : les commissions chargées de constater son utilité ont été saisies d'admiration ; elles ont déclaré hautement que les frais de son installation, évalués à environ 200,000 fr. par lieue, étaient mille

fois compensés par les services de toute nature qu'ils rendaient sous le rapport de la sécurité, de l'augmentation du trafic, des économies du service, etc., etc.

On peut demander à cet admirable instrument beaucoup plus que M. Coocke ne l'a fait. Lors de son dernier voyage à Munich, M. Steinheil nous communiqua un plan très ingénieux et encore plus utile. Il devait disposer la ligne télégraphique de telle sorte, que chaque gardien de la voie, abaissant un levier au moment du passage du convoi devant sa guérite, annoncerait ce passage aux stations extrêmes, en faisant sonner les timbres de ces stations, ou par d'autres signes de convention. En l'absence du gardien, le convoi lui-même, par son roulement sur les rails, sonnerait plusieurs coups, et constaterait de cette manière la négligence de l'employé. L'entrée dans la gare de l'une quelconque des stations, la sortie, et par suite le temps du séjour seraient aussi signalés; de telle sorte que, par cette merveilleuse disposition, les chefs du mouvement connaîtraient à chaque instant la situation du convoi, sa vitesse, le temps des stations, etc., etc. N'est-il pas évident qu'alors on verrait régner sur les voies de fer la plus parfaite régularité, et sous ces conditions le télégraphe électrique ne nous apparaît-il pas comme un immense bienfait de la Providence accordé à l'humanité au moment précis où un immense besoin se faisait sentir, et où effrayes de la vitesse excessive des masses énormes lancées sur les voies de fer unies comme la glace, le génie humain méditait sur les moyens efficaces de dompter ces éléments furieux, d'apprivoiser, si nous pouvons nous exprimer ainsi, ces monstres farouches, de les transformer en serviteurs dociles ?

Nous ne savons pas si M. Steinheil, dans l'application du télégraphe électrique, sur le chemin de fer de Munich à Augsbourg, a réalisé son magnifique plan; mais un Français, M. Bréguet, a imaginé et exécuté les appareils qui doivent résoudre, ou plutôt, qui ont résolu la grande difficulté du problème : grâce à l'amitié dont il nous honore, malgré la critique courageuse que nous avions faite de quelques uns de ses essais, nous initierons dans quelques instants nos lecteurs aux merveilles de son art.

Après ces préliminaires, qui, nous l'espérons, auront vivement intéressé nos lecteurs, nous aborderons un sujet plus ingrat, la

description des instruments conçus et exécutés en Angleterre, en Allemagne, en France, en Russie, en Amérique et en Italie; nous essaierons d'être complets, autant du moins qu'on peut l'être après les plus actives recherches. Comme notre but à nous, homme plus de théorie que de pratique, est principalement de faire connaître et d'inspirer des idées vraiment grandes, vraiment utiles, vraiment fécondes, nous nous attacherons surtout aux conceptions originales, neuves, progressives; et nous les reproduirons, alors même qu'elles seraient encore à l'état d'ébauche, ou qu'elles auraient été dépassées par les inventions plus récentes.

TÉLÉGRAPHIE DE LESAGE.

Voici quelques renseignements curieux sur le projet de télégraphe électrique proposé par Lesage. Nous les trouvons dans une lettre écrite par l'inventeur lui même à M. Prévost de Genève.

« Berlin, 22 juin 1782.

» Je vais vous entretenir d'une de mes anciennes trouvailles qui vient aussi d'être trouvée par quelqu'un d'autre, au moins jusqu'à un certain point.

» C'est une correspondance prompte, distincte et suivie, entre deux endroits éloignés, au moyen de l'électricité; dont je m'avisai il y a trente ou trente-cinq ans; et que j'amenai de suite à une simplicité qui la rendait infiniment plus praticable que n'est la forme dont le nouvel inventeur l'a revêtue. »

On peut concevoir un tuyau souterrain de terre vernissée, dont la cavité soit séparée de toise en toise, par des diaphragmes ou cloisons de terre vernissée, ou de verre, percées de vingt-quatre trous pour donner passage à autant de fils d'archal que ces diaphragmes, doivent soutenir et maintenir séparés. A chacune des extrémités de ce tuyau, sont vingt-quatre fils, s'écartant horizontalement, en se rangeant comme les touches du clavecin, et au-dessus de cette rangée de bouts de fils sont distinctement tracées les vingt-quatre lettres de l'alphabet, tandis qu'au-dessous est une table couverte de vingt-quatre petites feuilles d'or, ou autres corps bien attirables et bien visibles.

Le correspondant actif, ou celui qui veut se faire entendre, tou-

chera les bouts des fils avec un tube de verre préalablement frotté, selon l'ordre des caractères de l'écrit qu'il aura devant les yeux ; et le correspondant passif tracera sur un papier des caractères pareils à ceux sous lesquels il aura vu jouer l'attraction. Le reste est aisé à suppléer.

Lesage avait songé à offrir son secret au grand Frédéric, et voici la lettre d'envoi qu'il avait projetée.

« Ma petite fortune est non seulement suffisante à tous mes besoins personnels, mais elle suffit même à tous mes goûts, excepté un seul, celui de fournir aux besoins et aux goûts des autres hommes ; et ce désir-là, tous les monarques du monde réunis ne pourraient pas me mettre en état de le satisfaire pleinement. Ce n'est donc point au patron qui peut donner beaucoup, que je prends la liberté d'adresser la découverte suivante, mais au patron qui peut en faire beaucoup d'usage, et qui peut juger par lui-même de sa solidité et de son utilité, sans avoir besoin de la communiquer à son conseil. »

TÉLÉGRAPHE DE M. RONALDS, CONÇU EN 1815, EXÉCUTÉ ET DÉCRIT EN 1823.

(Planche I, appareil 1, figures 1 et 2.)

On ouvrit dans un jardin une tranchée, longue de cinq cents pieds. On posa au fond de la cavité une auge en bois, de deux pouces en carré, bien revêtue à l'intérieur et à l'extérieur de couches de poix ; cette auge renfermait une série de tubes de verre épais dans lesquels serpentait le conducteur en métal. Les tubes, au lieu d'être en contact immédiat, étaient séparés par d'autres tubes plus courts d'un diamètre plus large, dans lesquels leurs extrémités s'engageaient, entourées de cire molle pour fermer tout accès à l'humidité ; on a soin aussi de laisser entre les tubes un petit espace pour laisser le jeu nécessaire aux dilatations et aux contractions produites par les variations de température : dans une première expérience, les tubes unis par un mastic dur se brisèrent. L'auge fut ensuite recouverte avec des pièces de bois vissées sur elle pendant que la poix était encore liquide, et on recouvrit le tout d'une nouvelle couche d'enduit.

Une plaque circulaire et légère de cuivre (pl. I, app. 1, fig. 1), divisée en vingt parties égales, était fixée sur l'arbre des secondes d'une horloge dont le pendule battait les secondes. Chacune des divisions était marquée par une figure, une lettre, ou un signal préparatoire. Les figures étaient divisées en deux séries de 1 à 10, et les lettres étaient rangées dans l'ordre alphabétique, en omettant J, Q, V, W, X et Z. Devant ou dessus le disque, on plaçait une autre plaque de cuivre (app. 1, fig. 2) susceptible d'être mise occasionnellement en mouvement au moyen de la manivelle attachée à son centre, et munie d'une ouverture de dimensions telles, que, pendant que le premier disque tournait mu par l'horloge, on ne pût voir à la fois qu'une seule des figures, lettres ou signaux préparatoires; par exemple, la figure 9, la lettre V et le signe *Ready*, sont seuls visibles a travers l'ouverture. En avant de cette double plaque, un électromètre à balles de sureau, de Canton, était suspendu à l'extrémité de fils isolés, et communiquait d'une part avec le cylindre d'une machine électrique de six pouces de diamètre, de l'autre avec le fil enfoui dans le sol du jardin et isolé par les tubes en verre.

Un autre électromètre semblable était suspendu de la même manière devant une autre horloge pourvue à son tour des mêmes plaques de cuivre, et mise en communication avec une machine électrique. La seconde horloge et la seconde machine sont placées à l'autre extrémité du fil enfoui; et l'on doit amener, autant que possible, les deux horloges à un état de synchronisme parfait.

Il est maintenant évident: 1° que si le fil est chargé d'électricité à une de ses extrémités, sous l'influence de la machine, les deux électromètres divergeront aux deux extrémités, et que, si on le décharge soudainement à l'une des stations, les deux électromètres retomberont à la fois au même moment; 2° que si la décharge a lieu à l'instant où une lettre, une figure, un signal donné apparaissent devant l'ouverture sur le cadran d'une des horloges, la même lettre, la même figure, le même signal se montrent sur l'autre cadran; et par conséquent; 3° que si l'un des stationnaires, venant à décharger le fil au moment où la lettre, la figure, le signal qu'il veut transmettre se montrent devant l'ouverture, avertit, par la chute de l'électromètre, le second stationnaire de regarder quel signe appa-

rait à l'ouverture de la seconde horloge, il lui aura par là même transmis ce signal.

M. Ronalds ajoutait qu'au moyen d'un dictionnaire télégraphique, on pourrait, par une seule décharge, transmettre un mot, une phrase entière : il estimait, en moyenne, à cinquante secondes le temps nécessaire à la production du signal.

L'idée de maintenir les électromètres à l'état de tension, ou d'écart, et de se servir de leur retour à la verticale par la décharge de la machine, pour exciter l'attention du correspondant, est éminemment ingénieuse. M. Ronalds aurait complétement résolu le problème de la télégraphie, s'il n'avait pas rencontré sur sa route deux obstacles insurmontables ; la difficulté d'établir entre les deux horloges le synchronisme absolument nécessaire, et l'impossibilité d'isoler suffisamment les fils qui doivent conduire l'électricité ordinaire ou de tension.

Puisque nous avons été amenés à parler de conducteurs souterrains, profitons de cette occasion favorable pour donner à nos lecteurs des renseignements utiles et peu connus. Nous les empruntons à une lettre que M. Bréguet a eu l'extrême bonté de nous communiquer. Chargé comme l'on sait de tous les travaux qui ont pour objet l'établissement des lignes de télégraphie électrique votées par les chambres, notre illustre artiste avait tenté vainement de faire communiquer par des conducteurs souterrains les gares des chemins de fer avec l'administration des télégraphes, au ministère de l'intérieur. Désespéré de cet échec, M. Bréguet consulta le célèbre Jacobi, qui, disait-on, dans la ligne télégraphique qu'il a établie entre Saint-Pétersbourg et Çarskoe-Sélo, avait su éviter l'emploi des fils suspendus au-dessus du sol. Voici la réponse à cette consultation, nous n'en tairons qu'un mot qui nous donne bien à penser.

« Le placement des fils conducteurs dans l'air n'est qu'un pis-aller ; leur installation sous terre est le seul mode parfait ; mais je considère comme une des fatalités de ma vie la nécessité où je me suis trouvé de m'occuper de cet épineux problème.

» Comme, chez vous, il ne s'agit que d'une distance de 500 mètres, je n'y trouve aucune difficulté. Vous pourriez, par exemple,

sceller vos fils dans des rainures de bois, au moyen d'un mastic bitumineux et un peu élastique. Les rainures doivent avoir au moins un pouce en carré, et il faut prendre les plus grandes précautions pour que nulle part le fil ne vienne en contact avec le bois. J'ai fait exécuter de cette manière un circuit d'un kilomètre de long, et j'aurais été très satisfait de ce moyen, si, pour l'adapter à de longues distances, on ne se créait pas mille embarras, mille inconvénients pratiques et locaux.

» Je ne puis vous recommander rien de mieux que de prendre des tubes de verre, en donnant à chaque fil sa série de tubes. Les tubes dont je me sers actuellement ont environ 9 millim. de diamètre intérieur, 2 millim. d'épaisseur de la paroi (3 millimètres seraient mieux encore), et 3 mètres à $2^m,5$ de longueur. Le prix est environ de 50 centimes par mètre. Je les joins ensemble par des bandes de caoutchouc recouvertes d'une solution de la même substance; j'entoure de ces bandes les bouts des tubes déposés sur une longueur d'environ 8 centimètres pour augmenter l'adhésion du caoutchouc. Les tubes sont placés dans des rainures creusées dans des soliveaux ou madriers, et recouverts d'un couvercle en bois. Si vous voulez prendre de plus grandes précautions encore, remplissez, comme je le ferai à l'avenir, le vide des rainures qui ont 25 centimètres de côté, d'un mélange de trois parties de plâtre ou de poudre de briques avec une partie de suif fondus ensemble. Le diamètre de mon fil est tel qu'il pèse environ 40 grammes par mètre.

» Je vous avertis de ne point essayer de tirer ces fils nus à travers les tubes; j'ai fait moi-même des expériences bien fâcheuses à cet égard: quoique le fil eût été parfaitement recuit, l'intérieur des tubes a été fortement éraillé ou rayé, et il y en avait beaucoup de cassés par le seul tirage des fils. Ayant plus tard fait recouvrir les conducteurs d'une couche peu épaisse de fils de coton, et les ayant graissés ensuite dans un mélange de suif et de cire, ces fâcheux accidents ne se sont plus reproduits. Si le prix des matières premières n'est pas à Paris beaucoup plus élevé qu'ici, Saint-Pétersbourg, votre circuit souterrain de 500 mètres ne vous coûtera pas plus de 5 à 600 fr., et ne dépassera certainement pas les dépenses qu'entraînerait la pose du fil monumental que vous vous proposez d'étendre sur votre vaste capitale. »

M. Jacobi est vraiment bien bon d'appeler monumentale cette longue et trop longue suite de supports mesquins et de fils superposés qui couronnent si désagréablement les murs de la cité, quelques uns de nos ponts et de nos somptueux édifices; rien à notre avis n'est au contraire plus anti-monumental, dans la signification artistique de ce mot.

TÉLÉGRAPHE ÉLECTRO-CHIMIQUE DE SOEMMERING.

(Pl. I, app. 2, fig. 1, 2, 3, 2 *bis*, 3 *bis*.)

Ce télégraphe est la première solution complète du magnifique problème de la transmission des dépêches au moyen de l'électricité; nous reproduisons, presque dans son entier, la curieuse notice et les ingénieux dessins, publiés en 1812 par l'illustre physicien bavarois. Au point de vue de la théorie et de l'abstraction, cette belle invention ne laissait rien à désirer; il n'en est point de même au point de vue pratique : mais tous étudieront avec plaisir ce plan, premier effort de la science, ce premier élan du génie.

L'appareil est représenté en perspective, pl. I, app. 2, fig. 1, 2 et 3. Les fig. 2 et 3 *bis* représentent les pièces fig. 2 et 3 vues de profil. Les pièces fig. 1 et 2 sont toujours l'une auprès de l'autre; mais les pièces fig. 2 et 3 peuvent être séparées, en quelque sorte indéfiniment, et par toute la distance que peut exiger l'usage télégraphique, pourvu que leur communication électrique soit conservée ainsi qu'on le verra ci-après. Nous indiquerons d'abord sommairement l'usage et le jeu des parties représentées par chacune des trois figures, et nous reviendrons ensuite aux détails qui concernent chacune d'elles.

On voit dans la fig. 1 une pile voltaïque ordinaire : une dizaine de disques de zinc et argent peuvent suffire : on l'établit en commençant par le zinc, puis un feutre humecté et l'argent. Ainsi le pôle qui donne l'hydrogène, dans la décomposition de l'eau, se trouve en bas, et le pôle de l'oxigène en haut.

De ces deux pôles partent respectivement deux fils conducteurs, de métal souple, terminés chacun par une petite cheville de laiton épâtée en haut pour donner de la prise aux doigts. Ces chevilles sont destinées à être implantées à volonté dans l'un quelconque des

vingt-sept trous pratiqués verticalement vers l'extrémité d'un pareil nombre de petits cylindres de laiton rangés horizontalement à côté les uns des autres, sans se toucher, le long de la traverse supérieure de la pièce, figure 2. Chacun de ces cylindres correspond à une lettre de l'alphabet de A jusqu'à Z ; et il y a de plus deux signes additionnels qui contribuent à la précision du langage télégraphique; ce qui complète le nombre de vingt-sept. Le trou du cylindre et la cheville qui doit y entrer occasionnellement sont légèrement coniques, afin que le contact réciproque soit plus parfait et toujours sûr. Chacun de ces cylindres traverse dans toute son épaisseur la pièce horizontale qui les porte tous ; et il est percé à son extrémité opposée à celle qui reçoit la cheville (celle qu'on ne voit pas dans la figure) d'un petit trou transversal dans lequel on passe, et on tord ensuite l'extrémité d'un fil conducteur. On voit, dans la figure, ces fils converger en un faisceau dont la longueur est indéfinie, c'est-à-dire égale à la distance qui sépare la personne qui écrit télégraphiquement de celle qui doit lire. C'est l'appareil de lecture et celui d'avertissement qui sont représentés dans la figure 3. On voit là les fils conducteurs de l'influence galvanique se séparer de nouveau et se distribuer respectivement à l'extrémité inférieure de vingt-sept pointes métalliques, rangées le long du fond d'une auge de verre bien transparent *u u*, et qu'on voit ressortir dans son intérieur. Chacune de ces pointes répond à une lettre de l'alphabet respectivement correspondante à celle que porte chacun des cylindres ; en sorte que le système des signes est absolument le même dans la pièce fig. 2 et dans la pièce fig. 3. L'auge est remplie d'eau ordinaire.

Avant de décrire le mécanisme qui produit l'éveil ou l'avertissement, nous allons indiquer le procédé télégraphique. L'écrivain est à l'appareil fig. 1 et 2, et le lecteur à l'appareil fig. 3.

Supposons que l'écrivain a planté la cheville qui appartient au pôle hydrogène, ou inférieur de la pile dans le trou du cylindre F ; et celle du fil oxigène ou supérieur dans le trou du cylindre R. De ce moment, un circuit voltaïque complet est établi d'un pôle à l'autre par l'extérieur de la pile. Le fil hydrogène conduit l'influence électrique jusqu'à la pointe F dans l'auge ; le fil oxigène conduit cette même influence jusqu'à la pointe R dans la même

auge ; et la décomposition de l'eau a lieu, au bout de quelques secondes, à l'extrémité de chacune de ces deux pointes. On voit paraître un filet de gaz hydrogène partant de la pointe F, et un filet moindre de gaz oxigène à la pointe R. L'oxigène se distingue encore par un autre caractère : il s'entasse en petites bulles qui restent, en partie, adhérentes à la pointe qui le fournit et qu'il faut même avoir la précaution de dégager avec un pinceau, lorsqu'on doit revenir à la même lettre. Le lecteur prend note à mesure des lettres qui appartiennent aux deux pointes qui ont fourni les deux gaz, c'est-à-dire F et R.

L'écrivain enlève la cheville du cylindre F, et la met au cylindre A. Le lecteur voit cesser le courant d'hydrogène en F, et paraître en A ; il écrit A. L'écrivain a mis ensuite la cheville qui était en R en N ; le lecteur voit la pointe N se garnir de bulles ; il écrit N. Bientôt le courant d'hydrogène cesse en A, et commence en C ; on écrit C ; enfin celui d'oxigène cesse en N, et commence en F ; ainsi le lecteur se trouve avoir écrit le mot *France*, d'après les indications fournies à grande distance par l'écrivain. Une des pointes et un des cylindres, sont désignés non par une lettre, mais par un point : l'hydrogène, sortant de celle-là, indique la fin d'un mot. Il y a aussi un signe qui annonce que la même lettre est redoublée, dans les cas où l'orthographe l'exige. On est étonné de la rapidité avec laquelle ces communications s'établissent, sans qu'il y ait lieu à aucune incertitude ni équivoque.

Nous passons maintenant au mécanisme de l'avertissement destiné à annoncer, par une sorte de réveil, que l'appareil va fonctionner. Ce procédé est on ne peut plus ingénieux. On voit dans l'auge un levier coudé *c r b t* à double équerre ; son point d'appui est en *r*, et la potence qui le supporte est fixée par une vis de pression sur le bord supérieur de l'auge. Ce levier représente le fléau très léger et très mobile d'une balance. Le bras horizontal inférieur *cr* porte à son extrémité *c* un épatement en forme de cuiller renversée, c'est-à-dire dont la concavité est en dessous. Le bras supérieur *bt* porte en *b* une petite boule de métal percée d'un trou, et qui s'enfile très librement sur ce bras ; on l'arrête par un léger tâtonnement vers le coude supérieur du levier, à l'endroit où il faut qu'elle soit, pour qu'une très légère prépondérance, du côté *cr*, tende à laisser

le fléau dans la situation représentée dans la figure. On sait d'avance quelles sont les deux pointes voisines l'une de l'autre qui se trouvent répondre sous la cavité de la cuiller *c*. C'est aux deux cylindres correspondant à ces deux pointes, que celui qui veut avertir qu'il va écrire plante ses deux chevilles. A l'instant les gaz hydrogène et oxigène se dégagent, et montent en deux filets voisins dans la concavité de la cuiller qui les intercepte, et qu'ils remplissent.

Au bout d'environ une demi-minute, les bulles de gaz réunies dans la cuiller l'allègent si efficacement, qu'elles la soulèvent; le bras *cr* s'élève autour du point *r*; le bras *bt* s'abaisse; la boule *b* glisse par l'effet de cette inclinaison; elle tombe dans un entonnoir *e*, et de là dans une capsule qui termine la détente d'une petite horloge à réveil, mise ainsi en action. Le lecteur, averti par la sonnerie, commence alors ses observations.

Il nous reste à reprendre quelques détails de construction ou de manipulation dans les diverses parties de cet appareil, dont nous supposons que la description qui précède a dû faire saisir le jeu.

De la pile, des fils conducteurs, etc.

L'auteur a fait usage de la pile à colonnes de Volta, formée de dix plaques d'argent et de dix plaques de zinc. C'était l'enfance de l'art : cette pile avait cependant quelque énergie; sept disques donnaient déjà une étincelle, et décomposaient l'eau assez rapidement.

C'était un problème assez difficile, en apparence, que de conduire l'étincelle électrique individuelle de chacun des cylindres, à chacune des pointes homonymes de l'auge, sans confusion; alors même que les fils conducteurs étaient réunis en faisceau dans la plus grande partie du trajet d'une étendue indéfinie. L'auteur y parvint de deux manières : il entoura d'abord les fils conducteurs de soie, comme les grosses cordes à boyau des instruments à archet le sont de fil de laiton blanchi : il passait un vernis sur cette soie, et réunissait tous les fils en un faisceau qu'on vernissait aussi : l'isolement de chacun des fils était complet, on pouvait plonger impunément le faisceau dans l'eau pendant une partie de

son trajet. Un second procédé plus simple, et non moins efficace, consiste à enduire chaque fil d'un vernis isolant et souple, et à les réunir en un faisceau qu'on revernit encore. Quant à la distance absolue à laquelle pouvait atteindre l'influence électrique, l'auteur affirme qu'il n'a pu apercevoir aucune différence dans la promptitude de l'opération, que les fils n'eussent que deux pieds, ou une longueur onze cent fois plus considérable. Il signale avec bonheur l'analogie frappante qui existe entre son faisceau de fils et le système nerveux : ce faisceau est susceptible de cinquante-quatre actions différentes, dont vingt-sept peuvent avoir lieu en même temps, et même en sens opposé.

M. Sœmmering a trouvé aussi que l'or était préférable à tout autre métal, même au platine, pour former les pointes dont le fond de l'auge est garni. Le rapport entre les quantités des deux gaz, respectivement dégagés par des fils d'or et de platine de mêmes dimensions, était 1/2 pour le platine, 1/3 pour l'or : avec l'or donc la différence sera la plus grande possible, et les signaux transmis seront plus faciles à distinguer. La grosseur des pointes ne doit pas dépasser 1/3 de ligne. La distance des pointes n'influait pas sensiblement sur le plus ou le moins de promptitude avec laquelle le dégagement du gaz commençait ; la quantité de gaz produite était seule modifiée par la distance. M. Sœmmering remarque toutefois, sans pouvoir indiquer la cause de ce phénomène, que lorsqu'on faisait partir les deux courants de deux pointes voisines, par exemple, A et B, le courant ascendant d'hydrogène montait toujours verticalement, mais que celui d'oxigène s'inclinait vers son voisin.

A ces détails sur chacune des parties de l'appareil il reste peu de chose à ajouter sur le procédé télégraphique proprement dit : le gaz hydrogène se montrant plus abondamment dans l'auge, doit être employé, de préférence comme lettre première ou précédente ; on divise par couples toutes les lettres d'un mot ; pour les lettres doubles, on a un signe particulier, à moins que la division naturelle des syllabes ne dispense de l'employer ; enfin, pour indiquer qu'un mot est terminé, on a le signe du point.

TÉLÉGRAPHE D'ALEXANDER.

(Pl. 1, app. 4, fig. 1 et 2.)

Le modèle montré par M. Alexander à la Société des arts d'Édimbourg consistait dans une caisse de bois d'environ 5 pieds de long, 5 de large, 3 de profondeur à une extrémité, et 1 à l'autre. 30 fils de cuivre séparés l'un de l'autre s'étendaient dans toute la longueur de la caisse. À la station de départ, ces fils communiquaient à un ensemble de 30 touches formant comme un clavier de piano; ils aboutissaient à la station de départ à trente petites ouvertures espacées également par bandes sur un écran de 28 centimètres carrés. Sous ces ouvertures à l'extérieur étaient peintes en noir, sur un fond blanc, les vingt-six lettres de l'alphabet, deux points, un point et virgule, un point et un astérisque, les mêmes caractères en un mot déjà peints sur les touches.

L'appareil moteur se composait d'une pile ordinaire, puis de trente aimants, placés comme dans un galvanomètre entre les sinuosités des fils conducteurs à la station d'arrivée. Chaque lettre avait ainsi son aimant portant sur son pôle nord un petit écran ou carré de papier mobile qui, dans l'état de repos, cachait la lettre. Si l'on appuyait sur l'une quelconque des touches, le courant était établi, l'aimant correspondant de la station d'arrivée se plaçait à angle droit entraînant avec lui l'écran, et laissant voir la lettre. Si, par exemple, l'on appuyait sur la touche F, le courant traversait la batterie, le fil *o*, la touche, le fil conducteur marqué par la flèche, le fil correspondant de la station d'arrivée, les tours du multiplicateur pour revenir à la pile; l'aimant dévié mettait à nu la lettre F.

ESSAI TÉLÉGRAPHIQUE DE GAUSS ET DE WEBER.

(Pl. 1, app. 3, fig. 1 et 2.)

L'appareil moteur était une machine électro-magnétique munie d'un commutateur à l'aide duquel on dirigeait le courant dans un sens ou dans l'autre. Les fig. 1 et 2, pl. I, app. 3, donneront une idée de la manière dont on percevait les signaux : *a' a* est une vue latérale du multiplicateur composé de 3,000 pieds de fils, et posé sur une table B; *n s* est le barreau aimanté auquel est fixée une tige

verticale C, traversée à angle droit par une barre qui porte d'un côté le miroir H, de l'autre une boule métallique I servant de contrepoids au miroir. P et N sont les extrémités du fil du multiplicateur mis en communication avec les pôles de la pile. En face de l'électro-aimant se trouve une lunette D portée sur un pied G : sur le même pied on fixe encore un châssis à coulisse E dans laquelle glisse l'échelle divisée F. Le miroir H à angle droit avec le barreau aimanté présente sa face à la lunette D, ainsi qu'à l'échelle E; il est ajusté de manière que l'échelle puisse être vue très distinctement par réflexion à travers la lunette. Si le barreau tourne vers la droite ou vers la gauche, le miroir tourne en même temps et rend par conséquent mobile l'image de l'échelle. Les chiffres de l'échelle indiquent le sens et l'intensité de la déviation ; le nombre et l'étendue des oscillations que l'on produit en mouvant la manivelle de l'appareil électro-magnétique, et que l'observateur perçoit très nettement dans la lunette, sont les éléments faciles et suffisants d'une communication télégraphique.

TÉLÉGRAPHE GRAPHIQUE ET PHONÉTIQUE DE M. STEINHEIL.

(Pl. II et III, app. 5, fig. 1 à 21.)

M. Steinheil a fait précéder la description de son télégraphe de quelques remarques importantes sur le choix des fils conducteurs et de l'appareil qui doit donner naissance au courant. Les seuls métaux entre lesquels on pourrait balancer sont le fer ou le cuivre. Le cuivre conduit six fois mieux que le fer, mais aussi il coûte six fois plus cher, de sorte qu'en employant un fil en fer qui, à longueur égale, pèse six fois autant que le fil de cuivre, on obtiendrait le même effet de conductibilité, et au même prix. Nous avons déjà dit que des raisons très graves avaient fait donner partout la préférence au fer sur le cuivre. M. Steinheil a fait aussi de nombreuses expériences sur la diminution de conductibilité, ou mieux sur la déperdition de fluide qu'amène l'humidité et l'état électrique de l'atmosphère.

M. Steinheil préfère aux piles les appareils électro-magnétiques; les courants nés de la pile sont, dit-il, peu aptes à s'élancer à de grandes distances; parce qu'en supposant même les piles formées

d'un grand nombre d'éléments, la résistance qu'elles opposent au courant est toujours très petite par rapport à celle du circuit. Pour mieux comprendre cette distinction, il ne sera pas inutile de revenir encore une fois sur les principes de la télégraphie électrique, qui, aujourd'hui même encore, ne semblent pas avoir été soupçonnés par les maîtres de la science en France. Dans les quelques pages qu'il a consacrées à cette magnifique application dans la nouvelle édition de son *Cours de physique*, M. Pouillet a gardé sur ce point capital un silence qui nous étonne.

La difficulté à vaincre, c'était surtout de rendre des électro-aimants actifs à une très grande distance, c'est-à-dire à travers un immense circuit. On voyait, en effet, que les électro-aimants les plus puissants ne donnaient aucun signe de magnétisme, sous l'influence des piles les plus énergiques, quand ils étaient unis aux deux pôles de la pile par un fil conducteur dont la longueur dépassait certaines limites. Cette impossibilité apparente découragea d'abord M. Wheatstone; il ne crut pas qu'il pût parvenir à établir directement des communications télégraphiques, à exercer des influences magnétiques à de très grandes distances, par l'action directe des piles ou des machines électro-magnétiques; et pour atteindre un but qu'il poursuivait avec tant d'efforts, il se vit dans la nécessité de recourir à des moyens indirects. Il imagina alors une disposition dans laquelle une aiguille magnétique; dans ses déviations déterminées à toute distance par l'influence directe, entraînait avec elle deux fils, mettait ainsi en communication les deux pôles d'une pile située dans la station très éloignée, et rendait instantanément actifs les électro-aimants, qu'on avait désespéré d'aimanter : c'est le moyen employé plus tard par MM. Morse et Bréguet. Quelques années après, cependant, M. Wheatstone parvint à faire mouvoir ses appareils à la distance d'un très grand nombre de lieues par l'action directe de piles assez faibles.

Il n'obtint, au reste, cet éclatant succès que par une entente parfaite et l'application la plus heureuse des lois de Ohm.

L'action d'un électro-aimant dépend de trois éléments : elle est directement proportionnelle à la force motrice, en raison inverse de la résistance du courant, et directement proportionnelle au nombre des tours du fil conducteur sur le fer doux. Il résulte de

là que si le nombre des tours augmente, la force de l'électro-aimant augmentera d'une part, et diminuera de l'autre par le surcroît de résistance que les tours ajoutés apportent au circuit. Si la résistance primitive des autres parties du circuit est petite, la résistance nouvelle aura une influence sensible, et il pourra arriver que la force de l'électro-aimant soit réellement diminuée; si, au contraire, la résistance primitive du fil conducteur est très grande, comme c'est évidemment le cas d'un circuit s'étendant sur une distance d'un grand nombre de lieues, la nouvelle résistance, qui ne fera qu'une très faible partie de la résistance totale, pourra être considérée comme ne produisant aucun effet; il ne restera que l'excès d'action dû à l'augmentation du nombre des tours; et l'électro-aimant, de fait, aura plus d'énergie.

Ainsi s'explique cette contradiction apparente d'une même cause produisant des effets opposés dans un petit et dans un long circuit. En conformité avec ces règles invariables, les électro-aimants de M. Wheatstone sont très petits; ils sont entourés d'un fil isolé très fin, ayant une assez grande longueur; et de plus la longueur et la minceur du fil ont, avec la distance à parcourir, le rapport mathématique nécessaire à la production de l'effet voulu.

Quoique le fil fin crée une résistance plus grande, on l'emploie néanmoins, parce que cette résistance, qui reste dans tous les cas une fraction assez faible de la résistance totale, est largement compensée par l'énorme accroissement du nombre des tours dans un petit espace.

Ce que nous venons de dire ne s'applique pas seulement aux électro-aimants de la station d'arrivée, mais encore, et pour les mêmes raisons, aux électro-aimants de l'appareil excitateur destiné à produire le courant qui doit traverser tout le circuit.

L'étude profonde de ces faits fondamentaux a mis M. Wheatstone en état de produire des effets mécaniques, et de montrer des signaux à toute distance, non seulement avec des électro-aimants, mais encore directement, au moyen d'une pile. C'est ainsi qu'il a, pour la première fois, fait sonner des timbres et des cloches dans des stations séparées par un immense intervalle.

M. Steinheil, lui, n'a employé que des appareils électro-magnétiques, parce qu'il les croit plus sûrs. Ce ne sont, en réalité que

des modifications appropriées de l'appareil de Clark, nous ne les décrirons pas ici ; il nous suffira de bien faire connaître la disposition de ses inducteurs, l'installation de son télégraphe et son mode particulier d'action.

Du producteur des signaux.

« Nous avons démontré, dans ce qui précède, que le problème consiste en ceci : utiliser le courant galvanique, qui a été produit par l'inducteur et transmis ensuite, par la chaîne conductrice, de telle sorte qu'il dévie, d'après la découverte de Œrstedt, les barreaux magnétiques bien suspendus. Les déviations doivent être les plus rapides et les plus fortes possible, si l'on veut produire les signaux sans perte de temps, les uns après les autres : il faut donc que les dimensions des aimants magnétiques, dont on veut produire la déviation, soient convenablement choisies : il ne faut pas qu'elles soient trop petites, sans quoi la force mécanique qui résulte de la déviation devient trop faible, pour pouvoir produire la résonnance immédiate des timbres. On sait, d'ailleurs, que la production du courant restant la même, les déviations des aimants sont d'autant plus fortes, que le nombre des circonvolutions du fil est plus grand, ou que le fil a été plus souvent replié sur lui-même dans le sens de l'aimant. La grandeur du diamètre de chaque circonvolution exerce son influence seulement en tant qu'elle augmente la longueur totale du fil ou circuit formé. Cela posé, l'indicateur des signaux est un multiplicateur interposé par ses deux extrémités dans la chaîne conductrice, et renfermant dans son intérieur le barreau magnétique qu'il s'agit de dévier. Il importe de ne pas oublier que la résistance du circuit entier s'accroît d'autant plus, que le fil multiplicateur est plus mince, que les circonvolutions sont plus grandes, et que leur nombre est plus considérable.

» Les fig. 19 et 20, planche 3, représentent un semblable indicateur dans ses coupes horizontale et verticale : il contient deux aimants, tournant autour d'axes verticaux, et qui sont destinés tant à frapper sur des timbres qu'à fixer sur le papier une écriture composée de points. Sur les côtés du multiplicateur, formés de lames de laiton soudées (fig. 19), on a ménagé deux petites ouvertures destinées à recevoir et faire tourner librement les axes des deux

aimants. Ces ouvertures reçoivent en haut et en bas quatre vis qui servent de coussinets aux axes. A l'aide de ces vis, on peut placer les aimants de façon que leurs mouvements soient libres et faciles. Entre les joues du multiplicateur sont placées 600 circonvolutions d'un même fil de cuivre isolé, qui forme l'indicateur. Le commencement et la fin de ce fil sont représentés fig. 19, en M M. On voit par la figure 20 que les aimants au sein des couches du multiplicateur sont disposées tellement, que le pôle nord de l'un est rapproché du pôle du sud de l'autre.

» A ces deux extrémités qui, à cause de leur répulsion mutuelle, ne peuvent pas se rapprocher davantage l'une de l'autre, on a vissé deux petits bras grêles de laiton munis de petits récipients (fig. 19 et 20). A ces récipients, destinés à recevoir de l'encre grasse noire, sont adaptés de petits bras arrondis en avant et perforés très finement : l'encre huileuse, qui a pénétré dans les récipients, cédant à l'attraction capillaire, sort à travers le trou des bras, et forme à leurs ouvertures, sans s'écouler, des élévations semi-globuleuses ; et le contact le plus léger suffit alors pour fixer un point noir. Quand le courant galvanique traverse le fil multiplicateur de cet indicateur, alors les deux aimants tendent à tourner dans le même sens, autour de leur axe vertical ; un des petits récipients à encre sortirait ainsi d'entre les joues du multiplicateur, tandis que l'autre rentrerait. Pour empêcher cette rentrée, deux lames, opposées l'une à l'autre, ont été fixées dans l'intervalle où s'exécutent les oscillations des aimants ; les secondes extrémités des barreaux, fig. 20, viennent donc s'appuyer contre les lames, et il en résulte qu'un seul des récipients peut sortir du multiplicateur, tandis que l'autre reste en repos. Pour ramener rapidement les aimants dans leur position primitive, après que la force qui les déviait a cessé, on se sert de deux petits aimants isolés, N′, S′, dont la distance et la disposition doivent être convenablement déterminées dans chaque cas particulier par des expériences préliminaires, parce qu'elles dépendent de l'intensité du courant produit.

» Si l'on voulait se servir de cet appareil, pour produire, à l'aide de corps sonores, des sons perceptibles et faciles à distinguer, on ferait choix de timbres d'horloge ou de cloches de verre, qui résonnent sans peine, et dont les sons diffèrent à peu près d'une sexte. Cet

intervalle des sons n'est nullement indifférent : on distingue plus facilement la sexte que tout autre intervalle ; la quinte ou l'octave se confondent plus facilement avec le son fondamental pour des oreilles moins exercées.

» On fixe les timbres sur de petites colonnes à soubassement, placées vis-à-vis des barreaux opposés : on règle à l'avance leur position et les distances des aimants qui doivent les frapper au point le plus favorable à la résonnance. Il faut qu'elles ne soient pas trop près des marteaux, pour ne pas produire des sons prolongés. Mais tout cela se détermine à l'aide de quelques tâtonnements faciles.

» Veut-on que les indicateurs écrivent ? alors on fait passer, avec une vitesse uniforme, une surface de papier devant leurs bras. Pour cela, la meilleure chose à faire est de choisir de larges bandes de papier mécanique que l'on enroule sur un cylindre, et que l'on découpe autour en petites bandes étroites. Chacune des feuilles de papier, en se déroulant du cylindre, passe devant les petits encriers ; et il faut faire en sorte que leur mouvement se prolonge horizontalement, pendant un certain trajet, pour que les traces des points soient mieux dessinées, et que le papier puisse s'enrouler de nouveau sur un deuxième cylindre. Ce deuxième cylindre est mis en mouvement par une horloge, réglée elle-même par les oscillations d'un pendule alternatif. Tout cet ensemble est représenté, pl. II, fig. 1, par une coupe longitudinale ; il est vu d'en haut dans la fig. 2. Le tambour sur lequel la bande s'avance est porté sur deux cylindres mobiles autour de leurs pointes, pour diminuer le frottement : on peut, d'ailleurs, l'écarter plus ou moins des aimants ; ici encore l'expérience indiquera la situation la plus avantageuse.

» Il est évident que les mêmes aimants ne peuvent pas frapper en même temps les timbres, et écrire, attendu qu'une seule de ces opérations épuise leur petite force. Pour produire ces deux effets à la fois, il suffit de mettre en communication avec le courant un second appareil producteur des signaux. Et même généralement, en augmentant le nombre des appareils, on pourra renforcer à volonté le son des cloches ; cette multiplication toutefois entrainera toujours un accroissement de résistance dans le circuit, et ne pourra par conséquent pas être indéfinie. Pour que cette résistance soit aussi petite que possible, je conseille, dans le cas où l'on multiplie-

rait les producteurs de signaux, de les construire avec de gros fils, ou même avec des lames de cuivre.

Sur la disposition des appareils.

« La figure 1 présente la coupe longitudinale, et une vue prise d'en haut, du support pyramidal, placé sur le plancher de la chambre où se trouvent tous les appareils. Le fil conducteur de Bogenhausen, celui de Lerchen-Strasse, les extrémités du producteur des signaux et des fils conducteurs partant des deux vases à mercure de l'indicateur, par conséquent aussi les extrémités du multiplicateur aboutissent ensemble au milieu de la table, comme le montre la figure 2. Ils plongent dans huit cavités remplies de mercure. Ces cavités sont percées dans un cylindre de bois, fig. 6, pl. 3. C'est de la communication établie entre ces huit cavités que dépend la direction suivant laquelle le courant se propagera. Admettons, par exemple, que ces huit cavités soient réunies par des bascules en cuivre, ainsi que le représente la fig. 6, pl. 3, le courant galvanique traverse alors tous les appareils et tous les conducteurs. Une communication, au contraire, comme celle de la fig. 9, mettra Bogenhausen en dehors du circuit, et le courant sortant de l'inducteur ira à travers le multiplicateur à la station de Lerchen-Strasse. Tournez cette même figure de 180 degrés, alors la station de Lerchen-Strasse est en dehors du courant qui marche vers Bogenhausen. Un troisième mode de communication est indiqué (fig. 10): quand les bascules de cuivre sont placées dans la position indiquée par le dessin; l'inducteur et le multiplicateur sont réunis, tandis que les deux stations de Lerchen-Strasse et de Bogenhausen restent en dehors du circuit. Tournez la fig. 10 de 90 degrés, et vous réunissez Bogenhausen avec Lerchen-Strasse, de façon que les deux stations peuvent communiquer entre elles, sans que les nouvelles puissent être reçues à l'Académie.

« Ces trois modes ou systèmes de communications sont actuellement réalisés sur un couvercle en bois, muni de fils de cuivre, fig. 7. Sur ce couvercle on voit proéminer les extrémités de vingt-quatre fils; mais huit seulement de ces extrémités fonctionnent à la fois; on a cependant pourvu de vingt-quatre cavités le cylindre sur lequel reposent les vases à mercure: dans seize de ces trous,

il ne se trouve pas de mercure, on y fait seulement pénétrer les extrémités des fils qui sont hors de service : c'est ainsi que l'on réussit à conduire le circuit dans chaque direction possible. On peut sur la fig. 5 indiquer par des lettres les transmissions différentes à la surface externe du couvercle, de manière à réaliser à l'œil les différents modes de communications (fig. 7). En tournant convenablement ce couvercle, suivant la direction des flèches dessinées sur la table, on donne au courant toutes les directions voulues. Il est évident que les vases à mercure peuvent être remplacés aussi par des fils de cuivre percés coniquement, ce que l'on a exécuté aux stations de Bogenhausen et de Lerchen-Strasse.

» Il ne reste plus qu'à ajouter quelques mots sur la manière de se servir de l'appareil pour transmettre les communications télégraphiques.

» Par ce que nous venons d'exposer, on voit que toutes les fois que le balancier fait un demi-mouvement de la droite vers la gauche, un des producteurs de signaux est dévié : on a réuni les extrémités des fils conducteurs, de telle sorte que, dans le premier mouvement, ce soit le timbre le plus aigu de chaque station qui soit frappé ; si l'on place le rouleau devant l'indicateur, alors l'encrier du côté BB', fig. 2, marque un point sur la bande de papier mise en mouvement : les intervalles de temps après lesquels se répète cette figure sont exprimés par les distances mutuelles des points dont l'ensemble dessine une ligne droite sur le papier. Si l'on tourne, au contraire, de gauche à droite, on fait sonner les timbres graves, ou le deuxième encrier marque alors un point sur la bande du papier mobile, ce point n'est plus sur la même ligne que le premier, il est plus bas. De cette manière, les sons aigus et graves sont écrits sur la bande de papier comme des notes de musique par un point *haut*, ou par un point *bas*. Pendant aussi longtemps que les intervalles de temps entre les signes restent les mêmes, il se forme un groupe coordonné, tant pour les sons, que dans l'écriture qui les représente. Une pose plus longue sépare nettement les divers groupes.

» On arrive de cette manière à avoir des groupes ou des combinaisons bien choisies, et propres à représenter les diverses lettres de l'alphabet; ou un ensemble complet de signes sténographiques, à l'aide desquels les dépêches se transmettront à tous les points du

circuit munis d'appareils semblables à ceux que nous avons décrits. Dans l'alphabet que j'ai choisi, les lettres qui, dans notre langue, sont les plus fréquentes, correspondent aux signes les plus simples.

» Je me suis arrangé de manière à établir une sorte de similitude entre les lettres latines et les groupes des signes, afin qu'elles se fixent mieux dans la mémoire. La distribution des lettres et des chiffres en groupes, qui renferment jusqu'à quatre points, s'explique par la fig. 3, pl. 2. »

TÉLÉGRAPHE ÉLECTRO-PHYSIOLOGIQUE DE M. VORSELMAN DE HEER.

Appareil 22, figures 1 et 2, planche 5.

Chaque touche est double (fig. 1), de sorte qu'il y a deux claviers placés l'un au-dessus de l'autre. Les deux touches inférieures et supérieures sont unies métalliquement; mais on peut à volonté abaisser l'une ou l'autre : alors chacune communique avec un vase particulier rempli de mercure. De cette manière, les touches du rang supérieur plongent dans les vases P et N, celles du rang inférieur dans les vases P' et N' : les vases N, N', et P, P' sont unis métalliquement; chaque touche est munie d'une bande de cuivre, qui, pour pouvoir plonger dans le vase, est recourbée à son extrémité. Dans les touches du rang inférieur, on a ménagé des trous, afin que les touches supérieures les traversant, puissent plonger dans les vases P et N : ces derniers sont liés avec les deux pôles de l'appareil électrique. L'observateur, placé a l'autre extrémité de la ligne télégraphique, tient ses dix doigts appuyés sur les dix touches.

On peut sur les touches aux deux extrémités du conducteur écrire les lettres même ou les chiffres qu'il s'agit d'expédier, comme on le voit fig. 2. Si, par exemple, on presse les touches III et VIII, du même rang inférieur, on expédiera la lettre *n* : pour expédier le chiffre 3, on presse en même temps la touche supérieure I et la touche inférieure V; ou, ce qui revient au même, la touche inférieure I et la touche supérieure V.

On comprend maintenant l'effet complet du mécanisme. L'observateur B a reçu une dépêche, et veut y répondre; pour cela, il tire d'abord ses gants, pendant que l'observateur en A place ses doigts

sur le clavier; la correspondance alors s'engage sans difficulté aucune.

APPAREILS ÉLECTRO-TÉLÉGRAPHIQUES DE MM. COOKE ET WEATSTONE.

Télégraphe élémentaire à une seule aiguille, établi d'abord par MM. Cooke et Wheatstone *sur le chemin de Londres à Blackwall.*

Il est représenté app. 6, pl. 4, et se compose d'un seul indicateur ou d'une seule aiguille, fixée verticalement sur son axe, et qui se meut sur un cadran portant des chiffres. Derrière le cadran se trouve un barreau ou aimant temporaire fixé sur le même axe que l'indicateur, et qui entraine celui-ci dans ses déviations. Le fil conducteur fait un grand nombre de circonvolutions autour d'un châssis placé derrière le barreau; on réalise ainsi un multiplicateur qui exerce sur le fer doux une action beaucoup plus énergique. Deux petits supports placés à droite et à gauche du barreau l'arrêtent dans ses déviations, et l'empêchent de se placer à angle droit avec la direction du courant. Le passage du courant, dans un sens ou dans l'autre, fait donc dévier le barreau aimanté qui entraîne l'indicateur vers la droite ou vers la gauche.

Trois appareils semblables, app. 7, pl. 4, unis par un même fil conducteur forment l'ensemble de la ligne télégraphique de Blackwall. Chaque appareil a de plus sa batterie et sa manivelle propre, à l'aide de laquelle le gardien met à volonté la batterie en communication avec le fil conducteur : il peut ainsi établir le courant dans un sens ou dans l'autre, et faire passer à volonté les trois indicateurs vers la droite ou vers la gauche des autres gardiens qui, par un mouvement analogue de leurs manivelles, peuvent lui rendre son signal. Avec cinq mouvements à droite ou à gauche, de cette seule aiguille, on pourrait réaliser un alphabet complet, ou un ensemble de signaux qui ne laissât rien à désirer.

La fig. app. 8, pl. 4, représente l'appareil de l'une des stations du chemin de fer dans le plan de M. Cooke.

Télégraphe à deux aiguilles.

Il est formé par la réunion des deux appareils élémentaires dé-

crits ci-dessus, et représenté app. 9, pl. 4. Chaque manivelle est mue séparément ou conjointement avec l'autre. Les mouvements individuels des manivelles donnent les chiffres 2, 3, 4 et 5. Si on fait mouvoir les deux aiguilles l'une vers l'autre, en haut ou en bas, elles indiqueront les chiffres 1 et 8 ; si enfin elles se meuvent parallèlement vers la droite ou la gauche, elles indiqueront les chiffres 6 et 7. On obtient donc de cette manière huit signaux simples, résultant d'un seul mouvement séparé ou simultané de chaque manivelle : ces huit signaux, combinés dans un lexique spécial, suffisent pleinement à tous les besoins de la correspondance nécessaire au service des chemins de fer.

En admettant deux ou plusieurs mouvements de chacune des deux aiguilles, on réalise facilement un alphabet entier. Voici celui qu'ont adopté MM. Cooke et Wheatstone :

A. Deux mouvements vers la gauche de l'aiguille gauche.

B. Trois mouvements vers la gauche de l'aiguille gauche.

C et 1. Deux mouvements de l'aiguille gauche; le premier à gauche, le second à droite.

D et 2. Deux mouvements de l'aiguille gauche; le premier à droite, le second à gauche.

E et 3. Un seul mouvement de l'aiguille gauche vers la droite.

F. Deux mouvements à droite de l'aiguille gauche.

G. Trois mouvements de l'aiguille gauche vers la droite.

H et 4. Un mouvement vers la gauche de l'aiguille droite.

I. Deux mouvements vers la gauche de l'aiguille droite.

J est omis, on le remplace par G.

K. Trois mouvements vers la gauche de l'aiguille droite.

L et 5. Deux mouvements de l'aiguille droite; le premier à droite, le second à gauche.

M et 6. Deux mouvements de l'aiguille droite; le premier à gauche, le second à droite.

N et 7. Un seul mouvement vers la droite de l'aiguille droite.

O. Deux mouvements vers la droite de l'aiguille droite.

P. Trois mouvements vers la droite de l'aiguille droite.

Q est omis, on lui substitue K.

R et 8. Mouvements parallèles, vers la gauche, des deux aiguilles.

S. Deux mouvements parallèles, vers la droite, des deux aiguilles.

T. Trois mouvements parallèles, vers la gauche, des deux aiguilles.

U et 9. Deux mouvements parallèles des deux aiguilles; le premier à droite, le second à gauche.

V et 0. Deux mouvements parallèles des deux aiguilles; le premier à gauche, le second à droite.

W. Un mouvement parallèle des deux aiguilles vers la droite.

X. Deux mouvements parallèles des deux aiguilles vers la droite.

Y. Trois mouvements parallèles des deux aiguilles vers la droite.

Z est omis, on lui substitue S.

+, ou le temps d'arrêt est indiqué par un mouvement de l'aiguille gauche vers la gauche.

On peut varier à l'infini cet alphabet, qui est complétement arbitraire. Il nous semble que dans la langue télégraphique, il y aurait un avantage immense à partir des principes adoptés pour la mnémotechnie, c'est-à-dire 1° à supprimer les voyelles en les remplaçant par l'*e* muet; 2° à admettre que les faibles et les fortes seront représentées par le même signe; 3° à choisir pour signes représentatifs les chiffres. Voici dès lors quel serait l'alphabet, en acceptant les notations reçues dans la mnémotechnie.

d*e* et t*e*,	n*e*,	m*e*,	r*e*,	l*e* et ll*e*;	j*e*, g*e* et ch*e*,	qu*e* et gu*e*
1	2	3	4	5	6	7

f*e*, v*e*, ph*e*,	b*e* et p*e*	ç*e*, s*e* et z*e*.
8	9	0

Cette réduction aurait un avantage incontestable; les dépêches seraient expédiés avec une rapidité incomparablement plus grande, et cette rapidité compenserait surabondamment les difficultés de traduction. S'il est un point où il faille laisser quelque chose à faire à l'intelligence humaine, ne doit-ce pas être évidemment dans le cas que nous considérons; alors qu'il s'agit d'atténuer autant que possible les difficultés intrinsèques et essentielles qui rendaient presque inabordable le si difficile problème de la télégraphie. La confusion, au reste, serait bien plus apparente que réelle, et les hésitations cesseraient bientôt par l'emploi d'un dictionnaire analogue à celui dont on se sert dans la mnémotechnie. Dans le système que nous proposons, voici comment serait traduite la dépêche suivante :

L'armée ennemie rassemblée sous les murs de Valenciennes fuit.

543, 23, 4095, 0, 5, 34, 1, 8502, 8.

Et il nous semble impossible qu'avec l'aide, surtout d'un dictionnaire, on ne la devine pas immédiatement.

On pourrait, au reste, conserver les voyelles, et se contenter de confondre les faibles et les fortes, ce qui déjà épargnerait bien du temps : nous comprenons parfaitement les Allemands et les Espagnols, qui remplacent sans cesse, en parlant, les consonnes dures par les consonnes douces, et réciproquement.

Tous les juges compétents s'accordent à dire que le plus excellent des télégraphes électriques, généralement parlant, est le télégraphe à deux aiguilles que nous venons de décrire. Quoiqu'il exige l'emploi de deux fils, il mérite la préférence dans le plus grand nombre des cas, à cause de sa simplicité, de son infaillibilité presque absolue, de la facilité avec laquelle les manivelles se prêtent aux mouvements à exécuter, de la rapidité de transmission des dépêches, etc., etc. : aussi le télégraphe à deux aiguilles est-il le plus universellement adopté en Angleterre. M. Bréguet nous a affirmé que s'il avait été libre, que si l'administration n'avait pas été liée par les antécédents du télégraphe de Chappe, il n'aurait pas hésité à installer sur les lignes françaises le télégraphe à deux aiguilles. Dans quelques circonstances particulières, cependant, les télégraphes à lettres ou à imprimer les dépêches, que nous décrirons bientôt, satisferont mieux aux besoins du service.

La fig. app. 10, planc. 4, représente un télégraphe à quatre aiguilles, employé sur le chemin de fer anglais le Great-Western : les manivelles sont remplacées par des touches, et une disposition particulière des fils conducteurs facilite la manœuvre.

Télégraphe à cinq aiguilles.

Les figures 1 et 2, app. 12, pl. 5, indiqueront suffisamment, sans qu'il soit besoin d'entrer dans aucun détail, la disposition générale et les détails de cet instrument, le premier de ceux mis en pratique par M. Wheatstone, et que nous avons vu fonctionner à Paris au commencement de 1840. Il se compose essentiellement

d'une pile O, fig. 1, d'un clavier, fig. 2, de cinq fils conducteurs et de cinq aiguilles indiquant les lettres de l'alphabet, par leurs déviations, leurs convergences et leur parallélisme.

TÉLÉGRAPHE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE, DE M. WHEATSTONE.

Appareil 13, planche 5.

Quoique la figure ne représente ni le plus efficace, ni le plus complet des appareils de M. Wheatstone, nous lui avons donné la préférence, parce qu'elle fait mieux concevoir le principe et la disposition essentielle de ces admirables instruments.

E E est un electro-aimant formé de deux cylindres de fer doux, longs de deux pouces, d'un demi-pouce de diamètre, et autour desquels s'enroule une longueur tres grande de fil de cuivre recouvert de soie : les extrémités de ce fil communiquent avec les fils conducteurs v, v', allant d'une station à l'autre de la ligne télégraphique. Si un courant électrique passe à travers les fils, les cylindres de fer doux deviennent magnétiques, et attirent l'armature A ; mais aussitôt que le courant vient à cesser, l'attraction cesse, et l'armature poussée par la réaction d'un ressort, retourne à sa position première. En fermant donc, et en rompant le circuit alternativement, on fait avancer ou revenir l'armature. Ce mouvement alternatif, dans des directions opposées, est transformé en un mouvement circulaire dans une seule direction, par le moyen des deux tiges ou bras de levier *c* et *d* ; le bras *d*, tirant la dent quand l'attraction s'exerce, et *c* la poussant quand l'attraction fait place à la répulsion ; il en résulte que la roue *b*, et par conséquent le disque de papier ou cadran fixé sur elle avance d'un pas à chaque fois que l'attraction ou la répulsion cessent. Sur la circonférence du cadran, on a écrit les lettres de l'alphabet ou d'autres signes, en nombre double du nombre des dents de la roue d'échappement : on en a écrit vingt-quatre dans le cas actuel. L'instrument est renfermé dans une boite que la figure ne représente pas, et une plaque de cuivre aussi omise, placée devant le cadran, porte une petite ouverture qui ne permet de voir à la fois qu'un caractère. On peut, à volonté, amener chacune des lettres devant l'ouverture, en établissant ou rompant le circuit un nombre suffisant de fois. Cette première partie de l'appareil peut être appelé l'Indicateur ; l'autre portion, égale-

ment essentielle, porte le nom de communicateur : nous allons la décrire.

Le communicateur est formé d'un cercle en cuivre se mouvant librement autour d'un pied aussi en cuivre *f*; la circonférence du cercle porte douze entailles remplies avec des morceaux d'ivoire ou de bois dur, de sorte qu'elle présente des intervalles égaux de substance conductrice et non conductrice ; un ressort *g* presse contre cette circonférence, pendant qu'un autre ressort *k* s'appuie contre un anneau d'ivoire, muni sur sa circonférence d'un morceau de cuivre en contact métallique avec le cercle. Les quatre vis de pression sont unies entre elles par des fils courts : 1 avec 2, 2 avec le ressort *k*, 3 avec le support *f*, et 4 avec le ressort *g*. Les deux pôles Z, C de la pile, sont unis avec les vis de pression, 1 et 4 ; et les deux fils du circuit avec 2 et 3. La surface supérieure du cercle porte des caractères correspondants à ceux du cadran, et vingt-quatre petites broches destinées à faciliter le mouvement de rotation produit par le doigt; on a placé un arrêt S, afin que le doigt, appliqué à l'une des broches, ne puisse pas entraîner le cercle au-delà d'un certain point.

Le tout étant au repos, le signe + est placé vis-à-vis de l'arrêt S, le ressort *g* presse contre une division de la périphérie du cercle et le ressort K contre la pièce unique de métal placée sur l'anneau d'ivoire. Par cette disposition, la pile est placée en dehors du circuit qui reste complet, afin de n'apporter aucun obstacle aux communications qui pourraient venir à travers les mêmes fils, de l'autre extrémité de la ligne télégraphique. En tournant le cercle, le ressort *g* passe alternativement sur des divisions conductrices ou non conductrices, et le circuit est tour à tour fermé ou rompu. Si tout a été convenablement ajusté, quelle que soit la lettre que l'on amène devant l'arrêt, en appliquant le doigt à la broche correspondante, cette même lettre apparaîtra en même temps sur le cadran de l'indicateur, quelle que soit la distance qui sépare les deux appareils.

M. Wheatstone a inventé beaucoup de manières de transformer le mouvement alternatif de l'armature en un mouvement circulaire intermittent du cadran. Il a adopté définitivement le plan suivant pour les instruments qui doivent agir à de très grandes distances.

Le cadran à signaux est lié à un mouvement d'horloge mis en action par un ressort ou par un poids, lesquels, s'il n'y a pas d'empêchement, communiqueront à cette roue un mouvement rapide de rotation. Mais un mécanisme alternatif semblable, quant à l'action produite, à un ancre d'échappement, ne permet à la roue d'avancer que de la distance d'une demi-dent quand l'armature est ou attirée ou repoussée par la réaction du ressort. Par cette substitution d'un échappement à une simple impulsion, l'instrument devient beaucoup plus sensible; il agit avec un courant beaucoup plus faible : on comprend, en effet, facilement qu'il faille beaucoup plus de force pour donner directement le mouvement au cadran, que pour dégager une simple roue d'échappement. On voit, app. 14, pl. 5, un dessin de cette disposition qui s'explique par lui-même. C'est par l'adjonction d'un mouvement d'horlogerie que M. Wheatstone est parvenu à faire sonner un timbre ou une cloche à des distances quelconques, à imprimer par percussion les lettres de l'alphabet; à produire, en un mot, une multitude d'effets mécaniques.

Cet instrument, on le voit, est d'une simplicité extrême; il ne le cède sous quelques rapports qu'au télégraphe à deux aiguilles, qu'il remplace dans beaucoup de circonstances avec un immense avantage. On ne pourrait lui faire qu'un seul reproche : son mode de transmission, et la langue qu'il emploie, sont trop faciles à saisir. Comment en présence de cette facilité extrême conserver le secret des dépêches. M. Wheatstone a voulu obvier à cet inconvénient par un moyen parfaitement connu, mais toujours efficace; il fait dépendre la valeur des lettres d'un élément mystérieux, une phrase, une sentence, le nom d'un grand homme, etc., etc. On commence par former une fois pour toutes avec les vingt-cinq lettres: *a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z* et la première lettre *a* répétée, une table de Pythagore, présentant par conséquent la lettre *a* à ses quatre angles. Cela fait, supposons que la dépêche à transmettre soit celle-ci : *Attaquez l'ennemi dans son camp;* et qu'on prenne pour clef ce vers : *Allons enfants de la patrie :* celui qui doit expédier la dépêche écrira les deux lignes suivantes

A t t a q u e z l' e n n e m i d a n s s o n c a m p
a l l o n s e n f a n t d e l a p a t r i e a l l o :

alors cherchant dans la table les lettres qui correspondent à l'intersection des deux lignes qui ont en tête les lettres *a* et *a*, *t* et *l*, *t* et *l*, *a* et *o*, etc., il verra que les lettres à transmettre sont

aee odnim gfahhqt sayiabn nlac

celui qui est chargé de déchiffrer la dépêche, et à qui l'on a indiqué la clef retrouvera facilement, au moyen de la même table, la valeur réelle des lettres.

On a voulu rabaisser le mérite de M. Wheatstone en affirmant qu'il avait emprunté de M. Ronalds, ses cadrans; de M. Butzengeiger et de M. Davy le mode d'échappement et le moyen de faire avancer le cadran d'un pas à chaque intermittence du courant : si ce genre d'attaque était fondé, il n'y aurait plus d'invention possible. Cependant pour rendre à chacun ce qui lui appartient, donnons le dessin de l'horloge électrique de M. Butzengeiger, comme nous avons donné les dessins des dispositions de MM. Ronalds et Davy.

A et G, app. 15, pl. 5, sont des boules de cuivre, communiquant aux pôles de deux batteries électriques : A est le pendule qui est mis en mouvement par l'attraction et la répulsion alternative des boules A, G. B et C sont deux leviers, placés l'un de chaque côté du centre de mouvement F. E est la roue à rochet, ou encliquetage, circulant par l'impulsion alternative des leviers B C, et qui imprime le mouvement au reste des engrenages.

Il nous a été impossible d'obtenir les plans et la description des horloges électro-magnétiques et du chronoscope de M. Wheatstone. Nous réserverons pour le couronnement de cet ouvrage, nous représenterons et nous décrirons plus tard les admirables appareils imaginés et construits par cet illustre physicien dans le but d'enregistrer les observations météorologiques, appareils en usage aujourd'hui à l'observatoire de l'Association britannique pour l'avancement des sciences, établie à Kiew sous la direction habile de M. Ronalds. Ces appareils sont le *nec plus ultrà* du genre, et de véritables merveilles.

TÉLÉGRAPHE DE M. DAVY.

Nous ne décrirons pas en détail le télégraphe de M. Davy, qui n'a jamais été exécuté, qui était même inexécutable, et dont il n'a

plus été parlé depuis 1838; mais il y aurait injustice à passer sous silence le mode si ingénieux d'échappement imaginé par lui.

La fig. app. 11, planche 4, montre le principe de cet échappement électro-magnétique. A est la batterie voltaïque, B le clavier; N un bouton de métal auquel est fixé le fil conducteur de la batterie; C un électro-aimant et D son armature; I est le poids de l'horloge; H le barillet et la roue qui conduit le cylindre porteur des signaux K; G est la vanne ou régulateur du mouvement; E une paire de palettes, fixées à l'armature D, du côté opposé à l'axe du mouvement; F un ressort pour séparer l'armature de l'électro-aimant quand le circuit électrique est interrompu et que le magnétisme cesse. La disposition est telle, que pour chaque révolution de la vanne G, le cylindre K avance d'une division renfermant un caractère.

Supposons que la touche de clavier B soit pressée sur le bouton de métal N, le circuit métallique de la batterie voltaïque s'établit aussitôt; le courant électrique passe à travers les fils conducteurs et l'électro-aimant C, lequel attire instantanément l'armature D, qui force la palette supérieure E à abandonner le levier O et permet à la vanne ou volant G de tourner : aussitôt que celui-ci a parcouru une demi-révolution, il est arrêté par la palette inférieure, contre laquelle le levier O vient butter. La touche du clavier étant alors abandonnée, le circuit voltaïque cesse à l'instant, le magnétisme est détruit, et le ressort F relève l'armature dans sa première position. Ce mouvement abaisse la palette inférieure, laisse libre le levier O, et le volant fait la seconde moitié de sa révolution, après laquelle il se trouve de nouveau arrêté par le contact du levier O avec la palette supérieure ; à chaque révolution ainsi complète un caractère ou signal apparait successivement. Cette opération de presser et d'abandonner alternativement une touche de clavier, successivement répétée, imprime au cylindre des signaux un mouvement circulaire, de la même manière que l'aiguille d'une horloge se meut circulairement par l'effet du balancier et de l'échappement.

Ajoutons un mot sur le mode particulier d'écriture télégraphique, proposé par Davy :

Un tissu de coton, sur lequel des lignes longitudinales, coupées par des lignes transversales, divisent la surface en petits carrés,

est imprégné d'hydriodate de potasse et de chlorure de chaux; ce tissu se déroule sur un cylindre qui tourne par l'effet d'un poids, à chaque pulsation magnétique. Le courant traverse cette étoffe préparée et laisse une trace, bien marquée, dans le carré indiqué par la touche directrice; la position du carré dans le réseau tracé sur l'étoffe détermine la lettre ou le signal. Ce procédé exige sept ou huit fils au moins : on ignore la rapidité de ce moyen de correspondance, qui ne parait pas avoir été jamais pratiqué.

Il parait qu'en outre de ce mode d'impression chimique, M. Davy, dans une expérience faite en public, employa un procédé analogue à celui d'Alexander.

TÉLÉGRAPHES AMÉRICAINS DE MORSE ET DE VAIL.

Appareil 16, figures 1, 2, 3, 4, planche 7.

Sur une plateforme en bois, AB, s'élève une poupée verticale C, contre laquelle l'électro-aimant FF est fixé à l'aide de l'écrou P, qui presse les hélices H,H, contre la poupée par le moyen de la plaque O. L'extrémité supérieure de la poupée C est un couvercle ou une bride métallique GG, dont les côtés GG sont percés et taraudés horizontalement pour porter deux vis à pointe d'acier, aiguës et trempées, entre lesquelles se meut, avec le moins de frottement possible, le levier horizontal L: celui-ci, le levier *porte-plume*, est la pièce principale de la combinaison. A une de ses extrémités, en D, est soudée l'armature de l'électro-aimant; à l'autre extrémité, en R, le levier porte une ou plusieurs pointes d'acier, qui répondent à autant de rainures pratiquées sur le tour d'un cylindre horizontal d'acier, sous lequel passe la feuille de papier continu destinée à recevoir la dépêche, et qui se déroule régulièrement par l'effet d'un mécanisme à part, fig. 3.

Dans cette disposition, et le circuit une fois établi entre deux points, soit par un fil double, soit par un fil simple dont les deux extrémités sont plongées dans le sol, chaque effet de la batterie voltaïque, communiqué à quelque distance que ce soit par l'intermédiaire du fil conducteur, rapproche instantanément l'armature D des surfaces FF, ce qui ne peut avoir lieu sans que les pointes R du levier-plume n'aillent frapper contre le cylindre S, en laissant

sur le papier interposé et en mouvement, des traces plus courtes ou plus longues, des points plus rapprochés ou plus espacés, selon les intervalles divers que le correspondant aura mis entre les instants de contact et de séparation des pôles du circuit. Remarquons que tant que le contact existe, le levier-plume agit sur le papier : aussitôt que la communication est interrompue, le ressort MM abaisse le levier et le porte-plume quitte le papier. Enfin, pour que ces mouvements, qui doivent se succéder à volonté et d'une manière très rapide, entraînent le moindre choc possible, on a fixé sur le chapeau GG une traverse JJ, portant à ses deux extrémités deux vis verticales dont les extrémités servent à régler le mouvement du levier, et à le maintenir dans les limites étroites, suffisantes seulement à assurer l'exactitude et la régularité de l'effet combiné et alternatif de l'armure et du porte-plume.

Nous avons dit que la feuille de papier qui passe sous le cylindre d'acier S, contre la surface inférieure duquel la pointe-plume R laisse ses impressions, était attirée, d'une manière uniforme, par un mécanisme particulier. Celui-ci n'est qu'un simple appareil d'horlogerie, mu par un poids, et qui se trouve adossé à la poupée C, du côté opposé à l'électro-aimant (1).

Nous expliquerons maintenant l'arrangement qui permet à l'opérateur, placé à une station éloignée, de mettre à volonté les rouages en mouvement. Sur le montant R', fig. 3, est un barillet de métal, sur lequel passe la corde qui soutient le poids H ; par le moyen de cette poulie et des roues intermédiaires, le mouvement produit est communiqué à deux cylindres E F placés en avant du cylindre d'acier S : ces deux cylindres saisissent entre eux le papier 2, 2, 3, et le font passer uniformément sous la plume.

La figure 3 représente aussi les parties attenantes aux rouages de

(1) Le papier dont on se sert pour l'écriture télégraphique est fabriqué sous la forme de feuille continue, d'une longueur indéfinie, et d'environ 1 mètre 20 centimètres de large ; il est roulé très serré sur un cylindre de bois. Il est ensuite placé sur un tour et on le marque dans le sens de sa largeur en laissant entre chaque marque une distance de 375 millimètres. — Un couteau, appliqué tour à tour sur chaque division, coupe le papier pendant qu'il tourne, et s'arrête au cylindre de bois. On prépare de cette manière environ vingt-huit petits rouleaux d'environ 38 centimètres de diamètre, et qui sont prêts à être mis en usage.

l'appareil dérouleur du papier ; F et E sont les deux roues qui saisissent le papier 2 et 2 : le cylindre E est uni à la machine par une roue dentée ; F n'est pas lié de la même manière, il est pressé fortement sur E par des ressorts fixés aux bouts de l'axe : S est le cylindre d'acier au-dessous duquel on voit passer le papier 2 et 2. Immédiatement au-dessous de ce dernier cylindre est, en R, une des pointes d'acier fixées au bout du levier, dont on ne voit qu'une partie. Nous allons maintenant passer à l'explication des parties adhérentes aux rouages et au levier, et qui permettent à l'opérateur de mettre à volonté les rouages en mouvement, ou de les arrêter.

Dans la fig. 3, en R′, est une petite poulie sur le barillet du montant qui contient les rouages ; en Q est une autre poulie, mais plus grande. En 10, est une corde (1) qui part de la poulie R′, tourne autour de la poulie Q, et revient à la poulie R′, devenant ainsi continue. Cette corde communique le mouvement de la poulie R′ à la poulie Q. Dans la fig. 3, les poulies sont représentées par les mêmes lettres R′ Q. B est le barillet ; la flèche indique la direction du mouvement. La flèche en Q montre la direction que prend cette dernière poulie lorsqu'elle reçoit le mouvement de R′. Q est brisé en partie pour laisser voir le bras H, qui est soudé sur le même axe que la poulie Q, et se trouve directement au-dessous du levier L. Il est courbé, en D, de manière à venir appuyer contre la roue de frottement en bois C, au point P. La roue de frottement est fixée par le milieu sur la dernière vis de la machine et au-dessous du levier L. Du levier L, part une petite verge de métal A, qui traverse le bras H ; une vis et un écrou I, placés à l'extrémité de cette verge, servent à l'allonger ou à la raccourcir. Elle doit agir librement, tant à son point de jonction avec le levier, qu'à son point de jonction avec le bras. Cette verge est aussi allongée de manière à traverser la plate-forme, au-dessous de laquelle elle fait agir un marteau qui frappe une cloche, pour avertir l'opérateur qu'une communication va être transmise. Maintenant que les diverses parties sont expliquées, voici quelle est leur action combinée :

Le coude HD, lorsqu'il est mis en contact avec la roue de frottement C, empêche le poids des rouages d'agir sur la machine, et

(1) On a supprimé plus tard la poulie et la corde et on les a remplacées par deux petites roues dentées.

il n'y a pas de mouvement. Par l'action de l'aimant, le levier L prend la direction de la flèche 3, entraînant avec lui la verge A et le coude HD. Le coude étant ainsi éloigné de la roue de frottement C, les rouages commencent à marcher par la puissance de la pesanteur. Le barillet B tournera donc dans la direction de sa flèche ; ce mouvement est communiqué par la corde à la poulie Q, qui tournera aussi dans la direction de sa flèche; en conséquence, si le levier L n'est plus soulevé par l'aimant, le coude descendra doucement, et lorsqu'il touchera le point P, il arrêtera le mouvement des rouages, à moins que le levier ne continue de marcher, auquel cas le bras D, s'éloignant de la roue C, permettra aux rouages de tourner. Par ce moyen l'opérateur, placé à une distance plus ou moins grande de la machine, peut gouverner le mouvement du papier, de telle sorte que, lorsqu'il voudra écrire, la machine sera mise en mouvement, et que, lorsqu'il aura terminé, elle s'arrêtera aussitôt.

La clef ou correspondant est représentée par 6, 7, 8, 9; fig. 2, app. 16, presque de grandeur naturelle.

VV est la plate-forme; 8 est une enclume métallique, dont le bout inférieur, qui paraît au-dessous de la plate-forme, porte le conducteur de cuivre C; 7 est le marteau de métal attaché à la tringle 9, soudée elle-même au bloc 6 ; le tout est fixé à la plate-forme VV, par des écrous. Le second conducteur D traverse tout l'appareil et vient se souder à la tringle, en 6 ; on se sert de la clef pour écrire à la station éloignée, et généralement elle se trouve avec la machine sur la même table.

Nous allons maintenant décrire la manière dont on transmet une dépêche d'une station à une autre, de Baltimore, par exemple, à Whasington : la clef du premier opérateur est à Baltimore, son registre ou pupitre est à Washington ; la clef du second opérateur est à Washington, et son registre se trouve à Baltimore. Chacun a l'entier contrôle de son registre respectif; seulement, chaque opérateur monte l'instrument de l'autre et lui fournit le papier. Il faut se rappeler que chaque circuit est partout et complet continu, excepté aux clefs où il est ouvert. Si alors le marteau est mis en contact soudain avec l'enclume, et que, par l'action de la verge, on lui fasse reprendre sa première position, le fluide galvanique,

engendré par la batterie, accomplit sa course sur le circuit; et, quelle que soit la rapidité avec laquelle le contact ait été accompli et détruit, il a fait un aimant du fer doux de la machine; cet aimant attire à lui l'armature du levier-plume; ce dernier, avec ses pointes d'acier, frappe le papier et, en montant, dégage la roue de friction; celle-ci laisse aller les rouages qui, par le moyen du poids, commencent à tourner, et les deux cylindres fournissent du papier à la plume. Mais si l'on ne touche qu'une fois la clef, les rouages s'arrêtent par l'action du coude sur la roue de friction.

Voilà toute l'opération du télégraphe. Pour expliquer plus en détail l'action des pointes d'acier sur le papier qui est en contact avec le cylindre creux, nous supposerons que l'on touche la clef quatre fois: cela suffira pour fair agir les rouages et permettre au papier de glisser uniformément. Maintenant, que l'on touche la clef six fois, le contact a été produit et détruit six fois: chaque fois qu'il est produit, l'aimant électrique, ainsi que nous l'avons expliqué, attire à lui, avec une force considérable, l'armature du levier-plume, poussant ainsi les pointes d'acier contre le papier 2, sous le cylindre d'acier S. Les trois pointes de la plume tombant dans les trois trous correspondants du cylindre, emmènent avec elles le papier et le marquent (1) à chaque contact. Alors on voit

(1) Le premier modèle de télégraphe était garni d'un crayon de mine de plomb qui écrivait les caractères sur le papier. On a trouvé que ceci demandait trop d'attention, parce qu'il fallait aiguiser le crayon à chaque instant; on lui substitua une plume d'une construction particulière: un réservoir attaché à la plume fournissait de l'encre à celle-ci. Cette plume répondit à ce qu'on en attendait, tant qu'on fut attentif à lui fournir de l'encre; encore l'écriture paraissait-elle confuse, tant à cause de la forme des lettres que de la rapidité ou de la lenteur calculées des pulsations. Puis, si la plume s'arrêtait quelque temps, l'encre s'évaporait et laissait dans la plume un sédiment qu'il fallait retirer avant de remettre la plume en activité. Toutes ces difficultés forcèrent l'inventeur à rechercher d'autres manières d'écrire. Après une longue série d'expériences, on s'en tint pendant quelque temps à une méthode basée sur les principes des presses à copier. Mais ce plan ayant été le sujet d'une foule d'objections, on s'arrêta enfin, après beaucoup de dépenses et de temps perdu, au plan actuel, qui répond parfaitement à tout ce qu'on peut désirer. Il imprime sur le papier des marques auxquelles il est impossible de se méprendre. Il est fort propre, et les pointes d'acier qui servent de plumes étant faites de l'acier le plus dur, ne s'usent pas et maintiennent l'appareil dans un état permanent d'activité.

sur le papier, à mesure qu'il sort de dessous les cylindres, six marques, qui ne percent pas le papier, mais qui sont imprimées en relief, comme les caractères à l'usage des aveugles. Ces marques varient de la manière suivante.

En examinant l'alphabet télégraphique, on verra que les lettres sont formées de points, de lignes plus ou moins longues et d'espaces plus ou moins longs. Une seule pulsation de la clef répond à un seul point sur le papier du registre, ce qui représente la lettre E. Une pulsation prolongée, c'est-à-dire le contact de la clef maintenu pendant le temps nécessaire pour faire 2 points, produit une courte ligne et représente T : une seule pulsation prolongée pendant l'espace nécessaire pour faire 4 points, donne une longue ligne et représente L : une pulsation de 6 points est une ligne plus longue encore et représente le chiffre 0. Si l'on arrête la clef pendant la durée de 3 points, on aura le court intervalle qui doit séparer les lettres ; si on l'arrête pendant 6 points, on aura l'espace qui doit séparer les mots ; une plus longue suspension sert pour distinguer les phrases. Tels sont les éléments qui entrent dans la construction des caractères télégraphiques. L'alphabet est formé par la combinaison de ces éléments, ainsi qu'il suit.

ALPHABET.

A B C D E F G H I J K

L M N O P Q R S T U V

W X Y Z etc. 1 2 3 4

5 6 7 8 9 0

Prenons pour exemple la phrase suivante transmise de Washington à Baltimore :

T h e A m e r i c a n E l e c t r
o M a g n e t i c T e l e g r a
p h i n v e n t e d b y P r o
f e s s o r S F B M o r s e o f
N e w Y o r k o n b o a r d
o f t h e p a c k e t s h i p
S u l l y C a p t P e l l o n
h e r p a s s a g e f r o m H
a v r e t o N e w Y o r k O c
t o b e r 1 8 3 2

Il est évident que, puisque l'opérateur de Baltimore n'a aucune part à la transmission du message de Washington, sa présence n'est pas absolument nécessaire dans la chambre du télégraphe à Baltimore; il n'est pas utile non plus de faire la question préalable : *Êtes-vous là?* L'opérateur de Washington, transmet la depêche à Baltimore, que son collègue soit là ou non, et les caractères télégraphiques sont distinctement imprimés sur le papier du registre de Baltimore. Si l'opérateur omet une lettre à Washington, elle est également omise à Baltimore; s'il ajoute une lettre à Washington, une lettre sera aussi ajoutée à Baltimore; rien de plus, rien de moins.

Tel est le système d'écriture télégraphique imaginé d'abord par M. Morse. Plus tard, il a proposé un grand nombre de plans dans la vue de simplifier le système, et, suivant nous, ces tentatives n'ont semblé aboutir qu'à un résultat contraire au but que l'auteur se proposait. Nous ne ferons qu'indiquer, en passant, l'appareil où il employait, en dernier lieu, les vingt-sept lettres de l'alphabet et les dix chiffres, à l'aide d'un clavier, composé de trente-sept touches communiquant par autant de fils séparés. Mais l'ingénieuse disposition de chacune de ces touches, appellées par l'auteur *levier-clef*, mérite d'être reproduite avec quelque détail.

La figure 4, app. 16, représente une clef dans la construction de laquelle on s'est servi avec avantage d'un levier pour obtenir une communication plus parfaite avec une moins grande application de

puissance. On a fait usage d'une clef de cette sorte, pendant l'hiver dernier, pour transmettre les procès-verbeaux des séances du Congrès; on a trouvé qu'elle opérait avec facilité, certitude et rapidité. AA est un bloc sur lequel les diverses parties sont fixées: E représente le montant de l'enclume, et J l'enclume, vissée sur le montant; tous deux sont en métal: B est un autre bloc pour l'enclume d'arrêt K, et le bras S qui porte l'axe du levier C. L est le marteau vissé au-dessus de l'enclume et se projetant sur elle. R est un autre marteau du même genre, qui est en contact avec l'enclume K, lorsqu'on n'abaisse pas le levier. Sous la tête de chacun de ces marteaux sont des vis d'attache qui maintiennent perpétuellement les marteaux dans la position nécessaire à la manipulation facile du levier C. D est un ressort qui soutient le bras du levier, empêchant ainsi le marteau L de se mettre sans nécessité en contact avec l'enclume J. F est un écrou communiquant avec le bloc E, et G un autre écrou communiquant avec le bloc B : à ces écrous sont joints les fils I et H de la batterie. Pour faire marcher cette machine, il faut mettre le marteau L en contact avec l'enclume J, pendant le temps et les intervalles nécessaires à la formation des lettres qui composent la dépêche. Quand on baisse la clef, le fluide prend la route suivante: la batterie, le fil H, la vis G, le bloc B, le levier C, par l'axe S, l'enclume J, la vis F, le fil I et la pile.

TÉLÉGRAPHE-PRESSE DE M. VAIL.

Le télégraphe imprimant (*Printing telegraph*) de M. Vail, proposé en 1837, consiste en une roue-type portant à sa surface les vingt-quatre lettres de l'alphabet. Sur le côté de cette roue sont pratiqués vingt-quatre trous. La roue-type est mue circulairement par le moyen d'un encliquetage que le clavier *électro-magnétique* fait avancer d'une dent à chaque interruption et reprise du courant. Le papier s'avance sous la roue-type au moyen d'un mouvement d'horlogerie indépendant. Ici encore, l'exactitude de l'opération dépend de la correspondance exacte des appareils situés aux deux extrémités de la ligne télégraphique; il faut, au départ, que les roues-types présentent la même lettre à leur sommet, que les chronomètres marchent du même pas, etc... Au reste, nous ne croyons pas que ce système ait jamais été mis à exécution.

APPAREILS ÉLECTRO-TÉLÉGRAPHIQUES DE M. BAIN.

I. *Télégraphe imprimant.*

M. Bain, simple ouvrier, dont nous avons dû combattre les prétentions exagérées dans la partie historique de cet ouvrage, est réellement un artiste ingénieux et fécond. Il a consacré sa vie entière à l'étude et à la perfection de l'art merveilleux de la télégraphie électrique, et nous ne lui refuserons pas la justice qui lui est due; nous décrirons avec le plus grand soin les charmants appareils qu'il a successivement inventés, en regrettant de n'avoir pas pu nous procurer tous les renseignements que nous aurions désiré obtenir.

TÉLÉGRAPHE A IMPRESSION. — Cet appareil a pour caractère principal une étonnante simplicité, nous ne savons pas s'il a réalisé dans la pratique les résultats qu'on en devait attendre. Celui qui le voit pour la première fois, pourvu qu'il sache lire, peut apprendre, dans quelques minutes, à le mettre en action tout aussi bien que le mécanicien le plus exercé : il n'exige pour la manipulation qu'une seule personne; la nouvelle transmise s'imprime d'elle-même, sans exiger la présence du correspondant qui la lira à son retour : l'instrument agit seul et de lui-même. Cela semble impossible, mais des milliers de spectateurs on vu cette merveille de leurs yeux à l'Institut polytechnique, et l'on essaierait envain de la révoquer en doute.

On voit app. 17, fig. 1, planche 6, le mécanisme principal, ordinairement enfermé dans une boite, et placé sur un support commun. Il se compose essentiellement de trois parties : un cylindre A, une roue B, et un rouleau d'impression C : ces trois éléments tournent chacun sur un axe vertical, et leur mouvement est par conséquent horizontal : les autres accessoires ont cependant une importance réelle. Le gros cylindre tourne sur une vis en spirale, qui a pour but de le faire monter en même temps qu'il tourne. De l'axe intérieur du cylindre sort un bras de levier mis en communication par l'intermédiaire d'un rouleau avec un poids qui descend, et qui s'élève en même temps que le cylindre dans le mouvement de rotation de ce dernier : le rouleau d'impression fixé à ce bras participe par suite au mouvement d'ascension du cylindre : la roue B tourne simplement sur elle-même sans s'élever.

Il faut avant tout expliquer les fonctions que ces trois éléments ont à remplir. Le cylindre, qui s'enlève à volonté, porte, à sa surface extérieure, le papier sur lequel les lettres doivent s'imprimer; le papier est facilement remplacé quand il le faut. La roue comprise entre le cylindre et le rouleau, porte en relief à sa circonférence les lettres de l'alphabet, et un point : le rouleau est recouvert d'encre. Les lettres sont constamment pressées contre le rouleau pendant la rotation de la roue, elles sont donc constamment chargées d'encre, et dans l'état voulu pour déposer leur empreinte sur le papier : une seule lettre d'ailleurs s'imprime à la fois, à cause de la forme circulaire et convexe de la roue. La vis spirale, en faisant monter le cylindre, a pour effet d'amener constamment devant la lettre une surface nouvelle : les lignes successives ne se confondent donc pas, et la dépêche entière est écrite parfaitement distincte sur une bande qui se contourne en hélice: par cette même ascension, le rouleau présente à chaque instant une portion de surface qui n'a pas encore donné son encre.

Il nous reste maintenant à expliquer par quel mécanisme la roue poussée contre le cylindre imprime la lettre placée en regard. Le seul agent de cette pression est l'action électro-magnétique. Le disque métallique circulaire, fig. 2, placé verticalement, et reposant sur un support, porte à son milieu un indicateur mobile B, et dessinées sur sa périphérie les lettres de l'alphabet avec un point. L'indicateur est mis en mouvement par un rouage : une cheville en ivoire arrête à volonté le mouvement, quand on la place dans un trou situé sur le disque entre la première et la dernière lettre. Au-dessous de chaque lettre se trouve, sur le disque, un creux qui peut recevoir la pointe de la cheville.

Si la personne qui opère veut que l'indicateur s'arrête fixe sur une quelconque des lettres, elle n'a rien de plus à faire que d'enfoncer la pointe de la cheville dans le trou creusé au-dessous de cette lettre; l'indicateur alors s'arrête; mais il faut avoir soin de bien appuyer la cheville dans le trou. Il importe de remarquer ce fait capital, que le mouvement de la roue qui porte les lettres, dans l'appareil à imprimer, dépend uniquement du mouvement de l'indicateur sur le disque; de quelle manière cette dépendance a-t-elle été établie? Nous allons le dire.

Au-dessous du support qui porte le disque, se trouve une pile galvanique G, source de l'électricité qu'il s'agit de mettre en jeu. Des pôles de cette pile partent trois fils conducteurs, unis d'abord par un courant métallique avec l'indicateur, et qui, séparés ensuite en D et en E, vont aboutir à des points différents de la machine à imprimer. Deux de ces conducteurs commuuiquent avec deux électro-aimants EE, fig. 1, destinés à produire les effets de rotation et de pression qu'il faut obtenir; le troisième fil est le fil de retour nécessaire pour fermer le circuit. L'un des électro-aimants détermine les opérations de la roue qui porte les lettres, l'autre agit sur le cylindre.

Le cercle de petits points tracé sur le disque mérite une attention particulière : il se compose de petites chevilles en ivoire, implantées dans le disque en même nombre que les lettres de la circonférence. Sur l'indicateur se trouve une autre petite cheville en métal, dont la pointe, pendant la rotation de l'indicateur, parcourt en tournant le cercle en question, composé essentiellement de parties tour à tour isolantes et conductrices. Quand la pointe appuie sur l'ivoire le courant ne passe pas du disque à la machine à imprimer; quand elle s'appuie, au contraire, sur le métal, la communication entre les deux parties de l'appareil est rétablie. Cette fermeture et cette interruption du courant sont précisément ce qui produit les mouvements mécaniques décrits, par l'intermédiaire des électro-aimants agissant sur les armatures et sur les roues.

Supposons qu'on veuille imprimer sur le cylindre la lettre O; on retire la cheville en ivoire qui retenait l'indicateur en repos dans une position verticale; celui-ci alors se met en mouvement, en faisant un premier pas de A vers B. Pendant ce déplacement, la cheville en métal a établi, entre le disque et les deux électro-aimants de la machine à imprimer, une communication bientôt interrompue par l'arrivée de la cheville sur une des divisions en ivoire. Considérons cette première pulsation du courant électrique : pendant qu'il a été établi, le courant a communiqué aux électro-aimants un pouvoir attractif qui dure à peu près une seconde: pendant ce temps l'un des électro-aimants a agi sur le cylindre, qui a été entraîné et a tourné quelque peu autour de son axe. L'autre élecrto-aimant a agi sur la roue aux lettres; laquelle, sous la di-

rection d'un mécanisme excessivement ingénieux, resté d'abord le secret de l'inventeur, tourne exactement de la quantité qui sépare la lettre A de la lettre B, de sorte que cette seconde lettre prend la place de la première. Le même mouvement se reproduit peu à peu, de lettre en lettre, jusqu'à ce qu'on ait atteint la lettre O. En d'autres termes, à mesure que l'indicateur va d'une des lettres intermédiaires à l'autre, le courant est autant de fois établi et rompu; et la roue aux lettres, à son tour, avance chaque fois d'un pas : de telle sorte que quand l'indicateur est arrivé à la lettre O, cette même lettre se trouve en face du papier, prête à être pressée contre lui et imprimée. Par cette disposition, en un mot, la même lettre se trouve toujours à la fois en présence de l'indicateur, d'une part, et en présence du papier de l'autre, prête à être appuyée contre lui.

La dernière opération est l'effet d'un instant Dès que la lettre a pris sa place, une communication s'établit entre la batterie et le second électro-aimant qui agit sur la roue, pourvu qu'on presse un ressort placé sur le support du disque; la lettre est alors pressée contre le papier et y laisse sa trace; les mots sont formés de lettres, les phrases de mots; la dépêche est donc ainsi imprimée.

Cette invention, il faut l'avouer, fait le plus grand honneur à M. Bain, qui, tout à fait désintéressé, n'a pas voulu s'en réserver le monopole.

II. *Nouveau système de communication électro-télégraphique.*

Le but que M. Bain se propose dans ce perfectionnement de son invention première, est surtout d'obvier à la perte de temps considérable qui résulte de l'établissement et de la rupture du contact quand on se sert d'électro-aimants, et de supprimer l'usage d'aiguilles pour désigner les lettres de l'alphabet ou les signaux.

Le nouveau système, app. 16, pl. 6, se compose à l'ordinaire de deux appareils, dont l'un expédie et l'autre reçoit, et qui sont unis par un ou plusieurs fils. Les fig. 1 et 2, qui donnent, l'une l'élévation de l'appareil, l'autre sa coupe horizontale, suffiront à donner une idée assez complète du mécanisme. A est un cylindre en bois, sur lequel s'enroule une longue bande de papier, percée préalable-

ment de petits trous carrés *a*, *a*, *a*, fig. 3. Chaque groupe de trous est séparé des autres par des lignes transversales; et représente, ou une lettre de l'alphabet, ou un nombre, ou une phrase ou sentence. Du cylindre A, la bande de papier passe entre le cylindre B et les deux ressorts métalliques C^1 C^2, fig. 2. Le rouleau B est formé de pièces métalliques a^1 a^2 montées sur un fond en bois, de telle sorte que leurs bords contigus soient à une certaine distance les uns des autres. Ce rouleau tourne par l'action d'un mouvement d'horlogerie, dont la vitesse est réglée par un régulateur à force centrifuge au lieu de pendule. L'appareil recepteur, à l'extrémité du circuit, est tout à fait semblable à l'appareil transmetteur, si ce n'est qu'au lieu d'une bande de papier perforé on a enroulé sur le cylindre AA, une bande de papier coloré, trempé d'abord dans une solution d'acide sulfurique, puis dans une solution de prussiate de potasse. On enroule d'ailleurs le papier sur le cylindre, pendant qu'étant encore humide, il peut, en faisant partie du circuit voltaïque, transmettre le courant. Tout étant ainsi disposé, les machines aux deux extrémités de la ligne étant mues par un seul fil qui va de l'une à l'autre, et les ressorts métalliques étant en communication avec une pile quelconque, le surveillant de l'apreil transmetteur le met en mouvement: par là même il lâche une détente de l'appareil récepteur, qui marche à son tour; les deux machines commencent alors à enrouler les bandes de papier qu'on leur a présentées. Aussi longtemps que le contact entre les ressorts C^1 C^2 et le rouleau B de l'appareil transmetteur est empêché par l'interposition du papier entier, le passage du courant est interrompu; mais aussitôt que l'un des ressorts rencontre un, deux ou plusieurs des trous du papier, le circuit est établi, et le courant électrique, passant à travers les trous, circule dans le fil conducteur, vient aboutir au papier mouillé de l'appareil récepteur, et décolore par son passage les parties par lesquelles il a pénétré; il laisse donc de cette manière des empreintes tout à fait semblables pour la forme aux trous du papier sec, et imprime par conséquent la dépêche qu'il s'agissait de transmettre. La fig. 3 donne un aperçu de l'alphabet de M. Bain; les trous y sont disposés de manière à représenter le mot London. Si l'on voulait que le gardien ignorât les signes produits sur le papier, on se contenterait de le

plonger d'abord dans la solution d'acide sulfurique, on ne l'immergerait dans la solution de prussiate de potasse qu'après l'impression, et pour rendre les caractères visibles.

Parmi les diverses modifications de cet appareil, proposées par M. Bain, il en est une digne d'être signalée. On fait usage d'un disque, sur la circonférence duquel on dispose un certain nombre de petites baguettes, ou fils, d'égales longueurs, pouvant en glissant sortir d'un côté ou de l'autre du disque. La fig. 4 représente cette disposition. A est le bord du disque, *b*, *b* les fils, C¹ C² sont des ressorts semblables à ceux de la fig. 2. il est évident que si le disque vient à tourner, les ressorts seront successivement en contact avec les fils placés de l'un et de l'autre côté; et que, pendant qu'ils sont le moyen de communication entre les deux extrémités de la ligne, les effets chimiques produits à l'autre extrémité seront ceux que nous avons déjà décrits.

La rapidité de communication, dans ce nouveau système, n'est limitée que par deux circonstances; le temps employé à faire les trous dans le papier, et le nombre des intermittences de courant que l'on peut obtenir dans un temps donné. Dès lors, ne doit-on pas espérer que la vitesse de transmission pourra égaler au moins celle d'un compositeur d'imprimerie. Il en résulterait que les articles d'un journal pourraient être imprimés à distance aussi rapidement qu'ils le sont sur le lieu même; pourvu, ce qui est facile, que celui qui prépare le papier fasse, dans un temps voulu, autant de trous que le typographe met de lettres dans son composteur.

On peut résumer ce système en deux mots, c'est le procédé de l'immortel Jacquart appliqué à la télégraphie. Il ne reste plus qu'une chose à désirer, c'est que M. Bain fasse réussir dans la pratique ce qui sourit si bien en théorie.

Avant de donner la description des appareils imaginés par M. Bain, pour transmettre le mouvement d'une horloge à diverses aiguilles plus ou moins distantes, ou pour rendre parfaitement simultanées les indications de deux pendules, nous analyserons une note fort intéressante, écrite sur ce sujet curieux, par M. Steinheil.

Pourquoi dans les grandes villes avons-nous plusieurs horloges? Sans aucun doute pour indiquer partout les heures. Mais si ces hor-

loges ne marchent pas d'accord, le but sera manqué; chaque horloge indiquant une heure ou une minute différentes, nous ne saurons pas quelle est l'heure réelle. Il est vrai que depuis de longues années, l'horlogerie exacte s'efforce de résoudre le difficile problème de la marche simultanée des diverses horloges; mais après tant d'années, et malgré la multiplicité des moyens employés, le succès n'a pas encore couronné ses efforts. Les pendules astronomiques les plus parfaites elles-mêmes, ne marchent ensemble que pendant un temps assez court; et il est admis aujourd'hui qu'on demanderait en vain une régularité absolue à des mécanismes aussi compliqués.

En réalité le problème doit être posé comme il suit : multiplier à volonté les indications d'une même horloge; ou, pour employer un langage figuré, faire réfléchir en autant de lieux qu'on voudra les images identiques de cette horloge unique. Or, parmi tous les mécanismes connus, il n'en est aucun qui transmette le mouvement avec assez de vitesse, pour qu'à l'instant même où l'aiguille d'une horloge saute d'une minute à l'autre, le même passage s'effectue dans des lieux très distants. Nous allons voir comment on pourra atteindre cet effet merveilleux par un emploi approprié des forces électriques.

Concevons que le fil conducteur d'un courant galvanique aille du pôle zinc de la pile à la pendule, dont on veut multiplier les indications : un instant brisé, le fil reprend ensuite son cours, et passe tour à tour par chacune des stations où la reproduction des indications de l'horloge doit avoir lieu, et qui sont munies chacune : 1° d'un cadran avec aiguilles; 2° d'un appareil composé d'abord d'un électro-aimant qui, par le passage du courant, s'aimante et attire une petite armature en fer doux; 3° d'un mécanisme particulier qui, mis en mouvement, fait avancer d'un pas sur le cadran l'aiguille indicatrice. Après avoir traversé tous les électro-aimants des stations, et avoir été ainsi plusieurs fois interrompu, le fil conducteur revient au pôle cuivre de la pile. Admettons enfin que nous ayons trouvé une disposition telle, et tellement liée avec l'aiguille des minutes de l'horloge, qu'à chaque minute, le courant se trouvant fermé un instant, tous les électro-aimants deviennent actifs, attirent leur armature, et font avancer les aiguilles.

correspondantes d'un pas ou d'une minute; après quoi le courant étant de nouveau interrompu, toute attraction cesse, les aiguilles s'arrêtent pour s'avancer encore à la minute suivante, etc. N'est-il pas évident que de cette manière le problème de la reproduction en un nombre quelconque de lieux, des indications d'une seule horloge sera complétement résolu : le fil conducteur, en effet, peut avoir une longueur immense, et le courant, quelque long qu'il soit, le traverse en un instant indivisible. On pourra installer de semblables cadrans à tous les étages d'un grand édifice, dans toutes les chambres d'une maison, sur toutes les places d'une ville. En même temps qu'on règlera l'horloge unique, toutes les autres aiguilles seront par là même réglées; leurs indications seront toujours aussi parfaitement conformes que si tous les cadrans n'étaient en réalité que des images données par des miroirs du cadran de l'horloge unique.

C'est une première méthode de faire servir les forces électriques à la transmission du temps. On peut les utiliser encore de manière à faire marcher d'accord plusieurs pendules. Cette dernière application a un autre avantage précieux, c'est que si par un accident quelconque les appareils cessaient de fonctionner, l'accord seul ne subsisterait plus, les pendules n'en donneraient pas moins leurs indications isolées ; tandis que dans la première installation si l'horloge unique s'arrête, si le courant est interrompu, si les électro-aimants sont inertes, toutes les aiguilles cessent à la fois d'indiquer les heures. Parmi tous les moyens qu'on peut mettre en œuvre pour résoudre ce second problème, nous indiquerons seulement celui qui, sur l'ordre de sa majesté le roi de Bavière, a été réalisé dans l'institution royale des jeunes demoiselles. Pour les usages ordinaires de la vie, il n'est pas nécessaire que cet accord des horloges s'étende aux plus petites fractions du temps; s'il en devait être ainsi il faudrait appliquer l'appareil directeur aux pendules eux-mêmes, de manière à rendre parfaitement égaux les temps de leurs oscillations. Il suffira en général que l'accord soit rétabli à certains intervalles, à toutes les heures, par exemple, par l'intervention du courant électrique. C'est ce qui a lieu pour les horloges de l'établissement dont il vient d'être question. Le mouvement des aiguilles porte une pièce plate en forme de spirale,

laquelle pendant la durée de l'heure soulève peu à peu un poids, agissant sur un levier : ainsi soulevé, le poids est maintenu à sa plus grande hauteur, par une disposition semblable à celle qui tient armé le chien d'une arme à feu. La pièce en spirale dans sa rotation amène une entaille faite suivant le rayon et dans laquelle le levier s'engage ; cette entaille est élargie vers le haut. Quand le moment est venu où la pendule normale doit régler toutes les autres, l'armature ou le petit morceau de fer doux attiré par l'électro-aimant, agit par l'intermédiaire d'un levier sur la gache du cliquet, la détend, et fait que le bras de levier entraîné par le contre-poids tombe tout à coup ; cette chute l'engage dans l'entaille de la pièce en spirale fixée sur le mouvement des aiguilles. Si pendant l'heure qui vient de s'écouler l'aiguille avait avancé ou retardé, comme la chute du levier ramène l'entaille en avant ou en arrière, et avec elle les pièces en spirale et les aiguilles ; il en résultera que sur chaque cadran elles correspondront toutes exactement au même point. Dans l'intervalle d'une heure les bonnes pendules varient peu, il n'y a que de petites erreurs à corriger ; mais dans tous les cas l'entaille peut être assez grande pour ramener des écarts de deux à trois minutes, dans le cas où l'on ne rétablirait l'accord qu'après vingt-quatre heures. On parvient donc de cette manière à faire indiquer à un nombre quelconque d'horloges les mêmes heures, les mêmes demi-heures, et à les faire sonner en même temps. Il est certain que l'on arrivera par ces procédés à rendre complétement identiques les indications des horloges d'une ville beaucoup plus facilement que si l'on demandait cet accord aux perfectionnements impossibles de l'horlogerie.

Cette note nous donne l'occasion de rectifier une erreur historique dans laquelle nous sommes tombé en attribuant à M. Wheatstone la gloire de la belle application de la télégraphie électrique à la reproduction du temps. Cette gloire appartient toute entière à M. Steinheil, qui avait complétement réalisé cette invention avant le 20 septembre 1839. Nous avons entre les mains l'original, signé du roi de Bavière, du privilége qui assure à l'illustre physicien de Munich le monopole de l'application des procédés électriques, par lesquels il était parvenu à faire marcher ou à régler un nombre quelconque d'aiguilles ou d'horloges.

III. *Pendule électro-magnétique.*

AA est une caisse en acajou, fermée par une glace : B est un support métallique, fixé au fond de la caisse, et auquel le pendule est suspendu : CC sont des aimants en acier permanents, fixés sur les côtés de la caisse, de telle sorte que la lentille D du pendule puisse osciller librement entre les aimants qui se regardent par leurs pôles opposés. E est une petite boule de platine attachée à une tige en cuivre, et libre de se mouvoir à droite ou à gauche, en pressant un ressort très léger porté en H par la tige du pendule. La plaque de cuivre F est déposée dans le sol humide et communique par un fil au support B : la plaque de zinc G est de même enfoncée en terre et communique par un conducteur à la pièce de métal I ; ces deux plaques ont tout au plus quatre pieds carrés de surface. Au point le plus bas du ressort auquel est suspendu le pendule, on fixe un fil recouvert de soie ; ce fil passe derrière la tige du pendule, et se replie plusieurs fois sur lui-même dans une rigole préparée d'avance pour le recevoir ; il est alors ramené de derrière la tige et se termine en H aux supports du ressort : la lentille des pendules ordinaires est ainsi remplacée par une bobine électro-magnétique. Un courant électrique, constant et uniforme, passe de la terre dans les plaques et les fils en suivant la direction des flèches, aussi longtemps que la boule de platine E est en contact avec la pointe en platine liée au support I : mais supposons que le pendule soit déplacé, et que d'abord la lentille se trouve entre les pôles de l'aimant placé à droite, le point H se trouvant maintenant plus rapproché vers la droite que la boule E, celle-ci cessera de s'appuyer contre la pointe I, jusqu'à ce que le pendule faisant son oscillation vers la gauche, la boule retombe vers la droite ; ce même effet se reproduira à chaque oscillation ; l'action de la boule d'ailleurs établit tour à tour et rompt le circuit, alors que le pendule est à l'extrémité ou très près de l'extrémité de la course ; il en résulte que la bobine est attirée ou repoussée par les aimants vers la fin de ses oscillations : et que par conséquent le mouvement se continuera pendant un temps indéfini.

IV. *Horloges électro-magnétiques.*

App. 20, planc. 7, fig. 1 et 2.

A est une pile voltaïque, B une vue par derrière d'une horloge ordinaire dont le pendule bat les secondes; C est une plaque d'ivoire, fixée au châssis de l'horloge; elle porte en son milieu un morceau de cuivre qui communique par un fil conducteur avec le pôle positif de la pile. Au pendule est fixé un ressort très léger en cuivre F, de telle sorte que chacune des vibrations du pendule apporte l'extrémité libre du ressort en contact avec le morceau de cuivre, le circuit est alors fermé; il est interrompu quand l'extrémité du ressort porte sur l'ivoire. G et H sont deux horloges électriques, unies à l'horloge B par le fil conducteur L et mises en mouvement par elle. La fig. 2, app. 20, est une vue par derrière de l'une des horloges électriques; *a* est un électro-aimant, *b* son armature, tenue en suspension par un ressort, à la manière d'un pendule, *c* est une petite vis destinée à régler la distance de l'armature à l'électro-aimant. A l'extrémité inférieure de l'armature s'adapte un encliquetage *d*, s'engageant dans les dents d'une roue à rochet *e*; *f* est un ressort qui maintient fixée la roue à rochet. Si le pendule de l'horloge B envoie un courant électrique à travers le fil conducteur, l'armature est attirée par l'aimant, et l'encliquetage *d* tire une des dents de la roue de rochet; quand le courant est interrompu au moment où le ressort F du pendule abandonne le morceau de cuivre de l'horloge primitive, l'armature retombe à la position primitive, et entraîne l'encliquetage qui fait avancer d'une dent la roue à rochet. L'arbre de cette roue porte une aiguille qui avance ainsi d'un pas à chaque seconde, ou à chaque oscillation du pendule de l'horloge. Un pignon de l'arbre de la roue à rochet, met en mouvement un autre rouage qui porte l'aiguille des minutes et des heures. Pour faire marcher à la fois un grand nombre d'horloges électriques, il faudrait une pile puissante et un gros fil conducteur : on diminue considérablement la difficulté en faisant marcher les horloges, non pas simultanément mais circulairement, si l'on peut s'exprimer ainsi, ou l'une après l'autre. Pour obtenir cet effet on place la roue à rochet sur l'arbre de l'aiguille des minutes,

alors elle n'avance plus que d'un pas à chaque minute au lieu de chaque seconde.

La fig. 3, app. 20, montre par devant le régulateur de l'horloge primitive B, sur laquelle est fixé un cercle d'ivoire, avec des morceaux ou chevilles en métal, insérées de manière à effleurer la surface, et en nombre égal au nombre d'horloges à mettre en mouvement. Au centre du cercle est placé l'arbre de l'aiguille des secondes de l'horloge, sur laquelle est fixé un ressort très délié ayant son extrémité libre en contact avec le cercle en ivoire. Le fil conducteur positif de la pile est en communication avec le mouvement de l'horloge. Dès lors à chaque fois que l'aiguille des secondes passe sur une cheville de métal du cercle en ivoire, le circuit est fermé, et le courant est transmis à celle des horloges qui communique avec la cheville dont il s'agit. Comme l'aiguille des secondes passe une fois par minute sur chacune des chevilles de la roue, chacune des aiguilles, mises en communication avec l'horloge régulatrice, avancera d'une division par minute. Par cette combinaison le courant n'ayant à faire mouvoir à la fois qu'une seule aiguille exerce plus de puissance.

L'app. 21, pl. 7, fig. 1 et 2 représente un mécanisme destiné à faire marcher d'accord des horloges ordinaires, réglées à chaque heure par le passage d'un courant électrique qui les unit à une première horloge régulatrice. Pour mettre le mécanisme en évidence, on a enlevé une partie du cadran : *a* est un électro-aimant, et *b* son armature, à laquelle est attachée une tige terminée à son extrémité supérieure par une fourche conique *ee* : *c* est une cheville ou pointe, se prolongeant en arrière à partir de l'aiguille des minutes. Avant la transmission du courant électrique à l'électro-aimant *a*, l'armature *b* et les fourches *ee* sont dans la position indiquée par les lignes pointées : mais à la dernière seconde de l'heure, l'horloge régulatrice transmet le courant, et le fait circuler autour de l'électro-aimant ; alors l'armature est soudainement attirée et élevée, entraînant la fourche, comme le montre la figure. Si l'horloge avait avancé, le mouvement de la fourche sur la cheville ramènera à sa place l'aiguille des minutes, et celle-ci indiquera le temps exact. De même, si l'horloge avait retardé, la fourche ferait avancer l'ai-

guille; de cette manière donc l'horloge, à chaque heure, indiquera réellement le temps exact.

La fig. app. 21, pl. 3, montre le mécanisme adopté par M. Bain, pour faire marcher l'horloge électrique par la traction d'un fil de cuivre au lieu du pouvoir attractif d'un électro-aimant. A est un galvanomètre de cuivre isolé, suspendu librement à son centre; B est un barreau aimanté, fixé invariablement dans l'intérieur du galvanomètre; CC sont deux ressorts en spirale, un de chaque côté, pour conduire le courant électrique du fil conducteur stationnaire, au fil ou galvanomètre mobile; F est un encliquetage attaché au fil; E est une roue à rochet, fixée sur l'arbre de l'aiguille des minutes de l'horloge, et G est un ressort qui maintient la roue au repos. L'horloge régulatrice transmet le courant électrique au galvanomètre; le barreau aimanté est porté vers la gauche, l'encliquetage F entraîne la roue E, et la fait marcher d'une dent. Si le courant est interrompu, le fil revient à sa position première sous l'action du ressort C. Si l'horloge reçoit le courant à chaque seconde, la roue E est placée sur l'arbre de l'aiguille des secondes; mais si l'électricité n'est transmise qu'une fois par minute, alors la roue E sera placée sur le pignon de l'aiguille des minutes.

APPAREILS DE M. LE DOCTEUR DUJARDIN.

I. *Télégraphe électrique.*

Planche 8, fig. 1 à 8.

Le télégraphe qui est l'objet de cette description se compose de trois appareils : l'un sert à engendrer les courants électriques; l'autre sert à avertir et à tinter les dépêches; le troisième sert à écrire les dépêches.

§ I. L'appareil qui sert à engendrer les courants électriques, et qu'on appelle *machine magnétique*, est représenté fig. 1 et 2. Dans la fig. 1, la machine est vue de dessus; dans la fig. 2, elle est vue de côté. Les mêmes lettres représentent les mêmes objets dans les deux figures. ABC est un aimant puissant, en forme de fer à cheval, composé de plusieurs lames d'acier superposées. Cet aimant est supporté par trois petites colonnes en bois, dont deux seule-

ment sont visibles en D, E, fig. 2. Il est fixé solidement sur une planche qui sert de base à la machine au moyen d'une traverse en laiton FG, d'un boulon HI, et d'un écrou K. LM, NO sont deux grosses bobines qui présentent à leur centre une grande ouverture prismatique, et sur lesquelles un très long fil de cuivre isolé est enroulé. Les branches de l'aimant sont logées au centre de ces bobines. Les bouts du fil de cuivre sont soudés sur deux petits dés en laiton, P, Q, fig. 1, qui sont munis chacun d'une vis de pression pour pincer les fils de communication.

RS est une plaque de fer doux qui est appliquée sur les bouts de l'aimant. Deux pivots, fixés sur le bord supérieur de cette plaque, sont logés dans deux trous pratiqués dans les montants T, U, qui ne sont pas représentés dans la fig. 2.

VX est un long manche fixé au centre de la plaque de fer RS. Il sert à la faire osciller sur ses pivots. Pour cela il suffit de soulever le manche VX, comme on le voit en V′ X′, fig. 2, puis de le laisser retomber. On peut combiner ensemble plusieurs machines magnétiques, et obtenir des *batteries magnétiques* d'une très grande puissance. La fig. 3 représente une machine de ce genre, composée de deux aimants, de quatre bobines et d'une longue plaque de fer qui est appliquée sur les bouts des deux aimants. On peut réunir de la même manière trois, quatre,..... etc., aimants. Dans ce cas, on fixe deux manches sur la plaque de fer au lieu d'un seul, afin de pouvoir faire fonctionner la batterie à l'aide des deux mains.

§ II. L'appareil qui sert à avertir et à tinter les dépêches, et qui s'appelle *sonnerie*, est représenté fig. 4 et 5. La fig. 4 est une vue de dessus, et la fig. 5 une vue de côté. Les mêmes lettres représentent les mêmes objets dans les deux figures.

ABCD est un électro-aimant fixé verticalement sur une planche, à l'aide d'une vis dont la tête est située sous la planche. Les bouts du fil de cuivre de cet électro-aimant sont soudés sur deux petites pièces de laiton E, F, qui sont munies de vis de pression. Deux petites palettes de fer doux, G, H, sont fixés sur les bords des cylindres de fer de l'électro-aimant : elles peuvent s'éloigner ou se rapprocher. Elles servent à rapprocher plus ou moins l'un de

l'autre les pôles de l'électro-aimant, ce qui est d'une grande importance pour règler le jeu de l'appareil.

IK est une aiguille aimantée, quadrilatère. Elle consiste en un bout de ressort de pendule de 15 millim. de largeur environ, et de 12 à 15 centimètres de longueur. Un petit bouton de laiton est fixé à son centre : ce bouton est percé d'un trou et reçoit à frottement très dur une aiguille à coudre qui sert de pivot à l'aiguille aimantée. Une lame de laiton, pliée à angles droits à chacun de ses bouts, et présentant à sa partie supérieure un trou et à sa partie inférieure une cavité conique, sert de support à l'aiguille aimantée : voyez fig. 5. Ce support est fixé à la partie supérieure du montant LM, fig. 5.

N, fig. 4, est un grand verre à boire cylindrique que l'on choisit aussi sonore que possible; les verres coniques seraient peut-être préférables. Le verre N est percé, au centre de son fond, d'un trou qui donne passage à une vis qui sert à le fixer à l'un des bouts d'une lame de laiton O, laquelle est fixée par son autre bout sur la planche de l'appareil. Il faut avoir soin, pour ne pas altérer la sonorité du verre, de faire en sorte que celui-ci ne soit en contact avec la lame O que par son centre, ce qu'on obtient en donnant au bout de la lame sur lequel le verre pose, plus d'épaisseur qu'au reste de la lame.

P, fig. 4, est un cylindre de bois, ayant même diamètre et même hauteur que le verre à boire. Ce cylindre est fixé sur l'un des bouts d'une lame de laiton Q, laquelle est fixée par son autre bout sur la planche de l'appareil. Les lames de laiton O et Q, fig. 4, permettent au verre et au cylindre de bois de s'approcher ou de s'éloigner, ce qui est très utile pour règler le jeu de l'appareil.

La *sonnerie*, mise en communication avec la *machine magnétique*, fonctionne de la manière suivante : lorsqu'on soulève le manche VX de la machine magnétique, on produit dans le fil de cuivre de ses bobines un courant électrique qui va aimanter l'électro-aimant de la sonnerie dans un sens tel que l'aiguille aimantée attirée par l'un des pôles et repoussée par l'autre, est chassée violemment contre le verre, qu'elle met en vibration. Lorsqu'on laisse retomber le manche de la machine magnétique, on produit dans le fil de

cuivre de ses bobines un courant électrique, contraire au premier, et qui va aimanter l'électro-aimant de la sonnerie en sens inverse de sa première aimantation. Par suite de ce renversement de polarité dans l'électro-aimant, l'aiguille aimantée de la sonnerie est repoussée contre le cylindre de bois. Si l'on soulève et si l'on abaisse dix fois alternativement le manche ou plutôt le levier de la machine magnétique, la sonnerie produit dix sons.

§ 111. L'appareil qui sert à écrire les dépêches est représenté fig. 6 et 7. Dans la fig. 6 l'appareil est vu de dessus; la fig. 7 représente l'électro-aimant et la plume, vus de côté et dans leurs dimensions réelles.

ABCD, fig. 6, est un cylindre creux ou tambour en laiton de 12 à 15 centimètres de diamètre. Son axe EF, GH repose sur les gorges de deux montants IK, LM, qui sont fixés sur la planche de l'appareil. La moitié GH de l'axe du tambour est creusée d'un pas de vis à filet carré. Une lame d'acier fixée sur le montant LM pénètre dans le filet de la vis. Le bout E de l'axe du tambour offre un appendice EN, qui sert à transmettre au tambour l'impulsion du moteur.

OP, fig. 6, est une boîte qui renferme un tourne-broche à poids dont la manivelle QR sert à faire tourner le tambour ABCD par l'intermédiaire de la pièce EN.

ST, fig. 6, est un électro-aimant dont une partie est cachée par le tambour sous lequel elle est située. Cet électro-aimant est couché horizontalement sur la planche de l'appareil. Les bouts du fil de cuivre de cet électro-aimant sont soudés sur deux pièces de laiton U, V. X est une vis de rappel fixée dans une pièce immobile YZ; elle sert à faire avancer ou reculer l'électro-aimant, ce qui est très utile pour régler le jeu de la plume de l'appareil.

ABCD, fig. 7, est une vue de côté de l'électro-aimant ST, fig. 6.

EFG, fig. 7, est une portion de section du tambour ABCD, fig. 6.

HIJKL, fig. 7, est la plume du télégraphe, vue de côté. Cette plume se compose de quatre pièces: 1° un fil d'argent ou de platine HI, plié à angle aigu; 2° un fil de fer JKL, plié à angle obtus; 3° un axe en acier K; cet axe KK', fig. 7, est pivoté à ses deux bouts et présente un trou à son milieu pour livrer passage au fil de fer; 4° un aimant L en acier fondu, trempé au rouge blanc, et

aimanté à saturation ; cet aimant est vu entier en LL', fig. 7, il est percé d'un trou à son milieu pour recevoir le bout du fil de fer. Les quatres parties, ou plutôt les quatre pièces qui composent la plume sont soudées ensemble à l'étain. L'extrémité H de la plume est aplatie; un gros fil de coton représenté fig. 7, par une ligne courbe ponctuée, enveloppe le bout de la plume sous forme d'anse; le bec de la plume présente une petite échancrure destinée à empêcher le déplacement du fil de coton qui est assujetti par quelques tours de fil de soie.

MNOP, fig. 7, est un vase rempli d'encre ordinaire, dans laquelle le bout de la plume est immergé; le fil de coton fixé sur le bec de la plume est constamment imbibé d'encre; la plume, par conséquent, est toujours prête à fonctionner : on doit avoir soin d'entretenir l'encrier rempli d'encre. Le support de la plume n'est pas représenté fig. 7 : ce support consiste en une lame de laiton pliée en U, et présentant un trou à l'extrémité de chacune de ses branches pour recevoir les pivots de l'axe de la plume.

Voici comment on dispose le papier sur lequel les dépêches doivent être écrites. L'appareil est pourvu d'un certain nombre de manchons en zinc parfaitement cylindriques, qui s'adaptent à frottement léger sur le tambour ABCD, fig. 6, qu'ils recouvrent entièrement. C'est sur ces manchons que l'on dispose le papier destiné à recevoir les dépêches. Ce papier doit être un papier à lettre de belle qualité et sans pli : on le tend sur le manchon et on colle les deux bouts l'un sur l'autre, au moyen d'une très mince couche de cire molle composée de cire blanche et de térébenthine de Venise fondues ensemble.

L'appareil à écrire, étant mis en communication avec la machine magnétique, fonctionne de la manière suivante : le tambour est mis en mouvement par le tourne-broche : il exécute simultanément deux mouvements, l'un de rotation sur lui-même, et l'autre de translation sur son axe; celui-ci est dû à la vis GH, fig. 6 : ce double mouvement fait que la dépêche s'écrit en spirale sur la surface du tambour. Lorsqu'on détache la plaque de fer RS, fig. 1 et 2, des bouts de l'aimant, on produit un courant qui va aimanter l'électro-aimant, ABCD, fig. 7, dans un sens tel que son pôle boréal est en regard du pôle boréal de l'aimant de la plume, et son pôle austral en

regard du pôle austral de ce même aimant; il y a répulsion entre l'aimant et l'électro-aimant; l'aimant est chassé dans la direction indiquée par la flèche fig. 7; le bec de la plume sort de l'encre, va frapper le papier du tambour, et y trace un point d'encre. Lorsqu'on laisse retomber la plaque de fer RS sur les bouts de l'aimant, on produit un courant électrique qui va aimanter l'électro-aimant ABCD, fig. 7, en sens contraire de sa première aimantation. Il y a alors attraction entre l'électro-aimant ABCD, fig. 7, et l'aimant de la plume; le bec de la plume rentre dans l'encre. Si l'on soulève et si l'on abaisse dix fois alternativement le levier de la machine magnétique, on trace dix points d'encre sur le papier du tambour.

On vient de voir comment on produit des sons au moyen de la sonnerie, et comment on trace des points d'encre au moyen de l'appareil à écrire. Dans la pratique, on met simultanément la sonnerie et l'appareil à écrire dans le circuit de la machine magnétique, de manière à produire simultanément des *sons* et des *points d'encre*. Les dépêches se trouvent ainsi simultanément *tintées* et *écrites*.

M. Dujardin se trompe en attribuant à M. Jacobi l'invention du télégraphe électrique qui *tinte* et *écrit* les dépêches tout à la fois. Il veut parler sans doute du télégraphe de Steinheil, qui n'est ni si imparfait qu'il semble l'affirmer, ni si différent du sien.

Il convient maintenant d'indiquer comment on doit grouper les sons ou les points d'encre pour composer des signaux. Voici la méthode adoptée par M. Dujardin. Tout signal se compose de deux groupes successifs, comme l'indique le tableau suivant :

1	1E	2A	3I	4M	5B	61
2	1O	2U	3N	4C	5F	62
3	1D	2R	3L	4Q	5G	63
4	1T	2P	3V	4H	5K	64
5	1S	2W	3J	4Y	5Z	65
6	1X	26	37	48	59	60

Le premier groupe de points ou de sons indique dans quelle rangée horizontale se trouve le signal que l'on transmet, et le second groupe de sons ou de points indique dans quelle case de la rangée désignée se trouve le signal.

Exemples : .. ... signifie N, parce que le premier groupe indique que le signal se trouve dans la seconde rangée horizontale, et le second groupe indique que le signal se trouve dans la troisième case de cette rangée; ... .., au contraire, signifie R; ainsi des autres. L'intervalle qui sépare deux groupes doit être plus grand entre deux groupes appartenant à des signaux différents, qu'entre deux groupes appartenant au même signal; exemple :

.... PARIS.

On peut construire une table de Pythagore dont les cases soient beaucoup plus grandes que celles de la table ci-dessus, et inscrire dans chacune de ses cases non plus une lettre ou un chiffre, mais une phrase entière. Alors, chaque case représentera non plus un élément de mots ou de nombres, mais une idée complète.

Voici un moyen propre à faciliter la transmission d'une dépêche écrite en toutes lettres. Qu'on se représente un casier composée de 36 petites cases, dans chacune desquelles sont empilées de petites

lames quadrilatères de zinc ou de laitón. Sur chacune de ces lames sont imprimées une lettre de l'alphabet, et au-dessous deux chiffres qui représentent les deux groupes correspondant à cette lettre. Lorsqu'on veut transmettre une dépêche alphabétiquement, on la compose d'abord en rangeant les uns auprès des autres les caractères convenables choisis dans le casier; puis on le transmet en suivant du doigt la rangée des chiffres qui se trouvent sous les lettres.

Avant de transmettre une dépêche, on doit avertir son correspondant, au moyen de la sonnerie, et attendre qu'il ait répondu qu'il est prêt à recevoir la communication.

Comme les points d'encre, dans l'appareil à écrire, sont tracés au-dessous du tambour, on est obligé de placer un miroir sur le tambour, afin de pouvoir lire les signaux, au moment même où ils sont tracés par la plume.

Le télégraphe électrique de M. Dujardin peut être employé fort utilement pour s'assurer de la régularité de la marche des trains sur les chemins de fer, et en même temps pour appeler du secours en cas d'accident arrivé loin d'une station. Voici comment on peut atteindre ce but.

D'abord, il est nécessaire de remplacer le tourne-broche OP et le tambour ABCD de l'appareil à écrire fig. 6 par une horloge faisant marcher d'un mouvement parfaitement uniforme un long ruban de papier. La modification à apporter à l'appareil fig. 6 est représentée dans la fig. 8.

AB, fig. 8, est une roue de 30 à 40 centimètres de diamètre mise en mouvement dans la direction de la flèche par une horloge. Sur la circonférence de cette roue est enroulé un long ruban de papier blanc, dont une partie est visible en ABCDEFG. Ce ruban de papier se réfléchit deux fois sur les rouleaux C, F, et est attaché au point G de la roue G H. Une corde enroulée sur l'axe I de la roue G H porte un poids K qui sert à enrouler sur G H le papier qui se déroule de A B. L représente la plume du télégraphe.

Cela posé; soient M, R, deux stations d'un chemin de fer, et N O P Q les postes des gardes préposés à la surveillance de la voie entre les deux stations :

M N O P Q R

On place à chacune des stations M, R, une machine magnétique, une sonnerie et un appareil à écrire modifié fig. 8. On place ensuite une machine magnétique dans chacun des postes N, O, P, Q. Les horloges des appareils à écrire sont mises en mouvement aux deux stations M et R. Un train part de la station M; on fait jouer en M la machine magnétique qui avertit en R que la machine se met en marche en M. En même temps, le jeu de la machine trace des points d'encre sur les deux rouleaux de papier en M et en R. Lorsque le train passe devant le poste N, le garde de ce poste fait jouer sa machine magnétique; il donne ainsi avis aux stations M et R du passage du train, et trace des points d'encre sur les deux rubans de papier. Lorsque le train passe devant les postes O, P, Q, les gardes de ces postes font aussi jouer leurs machines magnétiques; ils donnent ainsi successivement avis aux stations M et R des passages du train, et tracent des points d'encre sur les deux rubans de papier, etc. En mesurant sur les rubans de papier les intervalles qui séparent les différents groupes de points d'encre, on connaît exactement le temps qui a été employé par le train pour se rendre de M en N, de N en O, de O en P, etc.

Si le convoi est arrêté par un accident, auprès du poste P, par exemple, le garde de ce poste en donne avis au moyen de sa machine aux stations M et R, et réclame du secours si cela est nécessaire.

On voit qu'il suffit, lorsqu'un train est en marche, de jeter les yeux sur les rubans de papier des télégraphes, pour connaître la position de ce train sur la voie, ainsi que la vitesse de parcours entre les différents postes des gardes.

Pour qu'un garde de chemin de fer puisse correspondre de son poste avec les stations, comme on vient de l'indiquer, il est indispensable que le fil conducteur de la ligne descende dans sa loge. Là, ce fil est brisé, et ses deux bouts sont fixés sur un commutateur. Les deux bouts du fil de cuivre de la machine magnétique du poste sont aussi fixés sur le commutateur, qui a pour fonction d'établir un contact métallique entre les deux bouts du fil de la ligne, soit en introduisant le fil de la machine magnétique du poste dans le circuit de la ligne télégraphique, soit en éliminant ce même fil du circuit de la ligne. Dans le premier cas, le garde peut communiquer avec

les stations; dans le second, il ne le peut pas. Le garde doit donc manœuvrer son commutateur avant de faire jouer sa machine magnétique. Pour lui épargner la peine de songer à exécuter cette manœuvre, on dispose le commutateur de manière que son manche croise à angle droit celui de la machine magnétique, et que le garde soit obligé de manœuvrer son commutateur avant de pouvoir faire fonctionner sa machine magnétique.

MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES APPLICABLES A LA TÉLÉGRAPHIE.

Pl. 9, fig. 1 à 9.

Première machine.

(Note communiquée à l'Académie des sciences le 29 avril 1844.)

ABC, fig. 1, est un aimant en forme de fer à cheval, fixé horizontalement sur une tablette. DE est un prisme de fer doux, arrondi à ses deux bouts et fixé sur un axe de rotation FG. Les bouts du prisme doivent passer, pendant la rotation, aussi près que possible des branches de l'aimant sans les toucher.

HIJK, fig. 2, est un châssis en laiton, vu par dessus, dans lequel on fait tourner le prisme de fer doux, et sur lequel on doit enrouler un long fil de cuivre *cotonné*. Ce châssis est semblable à ceux des multiplicateurs. LM est la face supérieure de la cage dans laquelle le fer DE tourne. N, O sont deux tubes qui livrent passage à l'axe de rotation FG.

PQRS, fig. 3, représente le châssis de la fig. 2 vu de côté. D′ E′, prisme de fer doux; F′ G′, axe de rotation.

Jeu de la machine. — Pendant la rotation, le prisme de fer doux, dont les extrémités s'approchent et s'éloignent alternativement des pôles de l'aimant, s'aimante et se désaimante. A chaque aimantation et à chaque désaimantation du prisme de fer doux correspond un courant d'induction dans le fil de cuivre enroulé sur le châssis autour du fer. Ces courants d'induction sont alternativement de signes contraires.

Seconde machine.

(Note communiquée à l'Académie des sciences le 1er septemb. 1845.)

ABC, fig. 4, est un aimant fixe horizontalement sur une

planche. DE est un axe de rotation en laiton sur lequel sont fixés deux prismes l'un de fer doux, et l'autre de cuivre. Le prisme de cuivre n'a pas d'autre fonction que de faire équilibre au prisme de fer doux.

FGHI, fig. 5, est une bobine en laiton dans l'intérieur de laquelle on fait tourner les deux prismes, et sur laquelle on doit enrouler un très long fil de cuivre cotonné. JK est le noyau de la bobine dans lequel les prismes tournent.

LMN, fig. 6, est une autre vue de la même bobine. F et C représentent les sections des prismes de fer et de cuivre.

Jeu de la machine. — Le prisme de fer doux, en s'approchant et en s'éloignant alternativement des pôles de l'aimant, s'aimante et se désaimante; de là production de courants d'induction de signes alternativement contraires.

Troisième machine.

(Note communiquée à l'Académie des sciences le 13 octobre 1845.)

ABC, fig. 7, est un aimant fixé horizontalement sur une planche; DE, FG sont deux bobines chargées de fil de cuivre cotonné.

Les branches de l'aimant ABC sont logées au centre de ces bobines. HI est une plaque de fer doux, fixée sur l'axe de rotation KL, et qui doit passer en tournant aussi près que possible des extrémités de l'aimant sans les toucher.

Jeu de la machine. — Lorsque, pendant la rotation, les bouts de la plaque de fer doux passent auprès des extrémités de l'aimant, la plus grande partie du magnétisme libre de cet aimant se dissimule, devient latente. Lorsque, au contraire, les bouts de la plaque de fer doux s'éloignent des extrémités de l'aimant, le magnétisme dissimulé devient libre. Ces perturbations, apportées par la rotation de la plaque de fer doux dans la distribution des fluides magnétiques de l'aimant, déterminent dans le fil de cuivre des bobines DE, FG la production de courants d'induction de signes alternativement contraires.

Quatrième machine.

(Note communiquée à l'Académie des sciences le 3 août 1846.)

ABC, fig. 8, est un aimant fixé horizontalement sur une planche.

DE, FG sont deux bobines chargées de fil de cuivre cotonné. HI, JK représentent les extrémités de deux cylindres de fer doux, qui sont logés au centre des bobines DE, FG. Ces cylindres sont en contact, par une de leurs extrémités, avec les bouts de l'aimant ABC. LM est une plaque de fer doux fixée sur l'axe de rotation NO.

Jeu de la machine. — La plaque de fer doux, en passant pendant la rotation, devant les bouts des cylindres de fer doux, et en s'en éloignant, détermine des perturbations dans l'équilibre des fluides magnétiques de ces cylindres. Ces perturbations développent dans le fil de cuivre des bobines des courants d'induction de signes alternativement contraires.

Cinquième machine.

ABC, fig. 9, est un aimant fixé sur une tablette; ses branches sont logées au centre des deux bobines H, I. DE, FG sont deux cylindres de fer doux; ils sont en contact avec l'aimant et logés au centre des deux bobines J, K. LM est une plaque de fer doux fixée sur l'axe de rotation NO.

Comme on le voit, la machine fig. 9, résulte de la réunion des machines représentées fig. 7 et 8.

APPAREILS DE M. BRÉGUET.

I. *Télégraphe représentant les signaux des télégraphes anciens.*

Planche 10.

Il se compose de deux corps de rouages placés sur une même platine, mais indépendants l'un de l'autre. Le tout est renfermé dans une boîte d'acajou. Le dessin représente une vue prise par derrière.

E, E, E' sont trois électro-aimants : dans le dessin, celui de gauche, est le seul qui soit enveloppé de fil. Chaque fil qui enveloppe les électro-aimants E, E, va s'enrouler autour de l'électro-aimant E', de sorte que celui-ci est formé d'un fil double.

CD est une platine sur laquelle sont fixés les deux rouages, munis chacun d'un ressort comme force motrice, et d'un échappement.

P, palette de fer doux attirée par l'aimant E.

B, bras de levier de la palette qui porte à son extrémité une cheville C, qui entre dans une fourchette faisant corps avec l'axe de l'ancre G.

O, centre de mouvement de la palette et du bras de levier B.

R, roue d'échappement munie du nombre de dents convenable, et fixée sur l'axe qui porte l'une des aiguilles indicatrices des signaux.

F, bras aussi fixé sur l'axe de la roue, dont l'objet est de faire lâcher la détente d'une alarme dont on voit la disposition.

V, V, vis qui servent à limiter les oscillations du bras B pour assurer les fonctions de l'échappement.

T, T, petits treuils pour tendre les petits ressorts *r*, *r*, dont le but est de ramener le bras B à son point de départ, après qu'il a été attiré par l'aimant de E.

B, B', boutons où viennent s'attacher les conducteurs de la ligne télégraphique. Il y en a deux de chaque côté de la boîte, mais dans le dessin on ne peut en voir qu'un.

H, H', H, H', boutons où se rendent les fils des aimants; ils communiquent en B, B' par des bandes de cuivre placées le long de la boîte. Entre les pôles de l'aimant E' peut osciller un barreau aimanté A, qui porte à une extrémité une partie dentée engrenant dans un pignon sur l'axe duquel est placée une troisième aiguille indicatrice des signaux.

Suivant le sens de l'aimantation de l'électro-aimant, le barreau est attiré d'un côté et repoussé de l'autre: dans ce mouvement il fait tourner le pignon, et par conséquent l'aiguille qu'il porte d'un quart de tour; cette aiguille est donc, suivant le sens du courant, horizontale ou perpendiculaire.

L, L, levier que l'on peut faire mouvoir à la main pour rectifier la position des aiguilles quand il survient quelque erreur.

II. *Télégraphe électro-magnétique à cadran de M. Wheatstone, modifié et perfectionné.*

Planch. 11, fig. 1 à 4.

Fig. 1 P, manipulateur.

RR, roue en bois sur la surface de laquelle sont gravés les signaux.

B B, cercle de cuivre percé d'un nombre de trous égal a celui des signaux.

M, manivelle placée sur l'axe de la roue, pouvant s'élever et s'abaisser ; elle porte du côté de la poignée et en dessous une cheville qui entre dans le trou du cercle de cuivre. Dans ce cas, la roue et la manivelle sont solidaires, mais quand la manivelle est levée, elle tourne indépendamment de la roue, et l'on peut la transporter ainsi à un signal quelconque.

A, arrêt contre lequel vient buter la cheville dans le mouvement que l'on donne à la manivelle et à la roue quand on veut transmettre un signal. Cette pièce A peut être portée de gauche à droite d'un angle déterminé, afin de pouvoir reprendre le même signal et faire faire ainsi un tour entier à la roue.

G, galet porté au bout d'un levier dont le centre est en O; il frotte sur le bord de la roue taillé en forme de cames ; il est continuellement pressé par un ressort.

L, lame de cuivre appuyant fortement sur la planche P et faisant corps avec le levier qui porte le galet G Cette lame, suivant les portions rentrantes ou sortantes des cames, vient successivement à frotter sur l'un des deux contacts métalliques C, C'.

C, C', contacts en cuivre où viennent s'attacher les conducteurs l'un en C, venant d'un des pôles de la pile, et l'autre C' qui communique avec le récepteur placé devant le manipulateur, c'est par celui-là qu'arrive au récepteur le courant venant de la station éloignée.

C'', lame métallique à laquelle s'attache un fil conducteur qui va à la terre.

Figures 2 et 3. Plan du récepteur.

A, aiguille qui indique les signaux gravés sur le cadran.

R, rouage d'horlogerie.

E, électro-aimant.

C, C', bandes de cuivre où viennent s'attacher les fils conducteurs ; en C, le fil de la ligne qui, à l'autre bout tient à la pile ; en C', le fil qui va à la terre.

P, palette attirée par l'aimant.

F, échappement, vue en face fig. 4.

Dans les fig. 2, 3 et 4, les mêmes lettres indiquent les mêmes choses.

III. *Appareil pour mesurer la vitesse des projectiles dans divers points de leur trajectoire.*

Planche 11.

Figure 1, plan de l'appareil.

Figure 2, vue d'un côté.

Figure 3, vue de l'autre côté.

Figure 4, plan d'un petit appareil accessoire pour établir un circuit à un instant déterminé.

Figure 5, plan d'un compteur électro-magnétique qui marque sur un cadran par des points le nombre de tours que fait une roue dans un temps déterminé.

Figure 6, profil de l'appareil.

Dans les fig 1, 2, 3, les mêmes lettres indiquent les mêmes choses.

A B, bâtis en fonte sur lequel l'appareil est monté.

G, cylindre creux en cuivre long de 36 centimètres, et dont la circonférence d'un mètre est divisée en millimètres sur toute la longueur. Il est monté sur un axe d'acier tournant sur des galets.

P, plateau fixé à l'une des extrémités de l'axe.

V, volant à ailettes courbes, fixé à l'autre extrémité.

M, commutateur placé sur l'axe du cylindre; trois ressorts métalliques frottent dessus.

T, tambour sur lequel s'enroule une corde à laquelle est suspendu le poids moteur. L'axe de ce tambour porte une roue qui engrène avec un pignon fixé sur l'axe d'une seconde roue qui commande un pignon faisant corps avec l'axe du cylindre.

N, commutateur placé sur le second axe. Deux ressorts appuient sur ce commutateur: par leur moyen, chaque tour de cette roue est marqué sur le cadran du compteur, fig. 5 et 6.

H, petit chariot porté par trois poulies qui roulent sur un petit chemin métallique formé par les tringles de cuivre R R, R′ R′. Il porte deux électro-aimants et deux leviers en fer destinés à être attirés quand un courant électrique passe dans le fil enveloppant les aimants. Ces leviers portent chacun à leur extrémité un style dont l'objet est de faire des traces sur le cylindre; et comme le chariot a un mouvement de translation dans le sens de la longueur du cylindre, on voit que les styles peuvent faire des marques d'un bout jusqu'à l'autre.

E, échappement, où le balancier est attiré d'un côté et de l'autre par les deux petits aimants représentés dans la figure. Sur l'axe de la roue d'échappement est une série de poulies de divers diamètres; sur l'une d'elles est enroulé un fil auquel est attaché le chariot qui, de l'autre côté, est tiré par un poids. On voit aisément que chaque fois que la roue d'échappement tourne d'une dent, il doit avancer d'une quantité déterminée par le diamètre de la poulie sur laquelle le fil est enroulé.

Ce sont les trois ressorts 1, 2, 3, du commutateur M, qui, à chaque tour du cylindre, font passer le courant d'abord dans un aimant, puis au tour suivant dans l'autre, ce qui détermine le mouvement oscillatoire de l'échappement : ce mouvement dégage ainsi la roue d'une demi-dent à chaque tour.

S, S, les deux styles portés par le chariot.

ρ, β, boutons communiquant aux tringles R et h'.

ϐ, ρ, boutons communiquant aux tringles R' et b.

Les tringles R', b, sont en liaison métallique avec le fil de l'aimant 1.

Les tringles R, b' le sont avec l'aimant 2.

Ainsi, mettant les deux pôles d'une pile aux boutons ϐ et ρ, un courant circulera dans le fil de l'aimant 1, et l'aimantera.

Il circulera dans le fil de l'aimant 2, si l'on met les pôles en ρ et β.

Dans cet état, les deux styles seront éloignés du cylindre; mais si l'on coupe l'un des fils qui de la pile arrive sur l'un des points ρ, β ou ρ, ϐ, le courant sera interrompu et un style tombera.

Le courant qui passe dans l'aimant 1 passe aussi dans la première cible, et dans le petit appareil fig. 4; et l'on dispose la roue R de manière que la languette métallique D ne soit éloignée que d'une dent du cliquet C. Alors, à l'instant où le boulet vient à couper la cible, le courant est interrompu; un style tombe sur le cylindre, la palette A, fig. 4, qui était retenue par l'aimantation, fait un mouvement, pousse la roue R d'une dent, la languette D touche le cliquet C, et à l'instant un circuit métallique est complété, un courant passe dans le second aimant, qui alors relève son style. Ainsi, au moyen d'appareils comme celui de la fig. 4, en nombre égal à celui des cibles, on voit qu'à chaque cible percée un style tombe et un autre se relève au même instant.

Dans ce moment, on fait des expériences avec cette machine en Russie.

APPAREILS DE M. PAUL GARNIER.

I. *Télégraphe électrique.*

Planche 12.

Le télégraphe est mis en fonction au moyen d'une pile voltaïque; et se compose de deux appareils dont l'un, qui s'appelle le transmetteur, est pourvu des lettres, chiffres et signes avec lesquels on compose la dépêche à transmettre. Il est de plus disposé pour fermer le circuit électrique qui détermine l'apparition des lettres, chiffres ou signes aux ouvertures ménagées dans le second appareil qui est le télégraphe proprement dit.

Mécanisme du transmetteur.

Cet appareil se compose d'un cercle divisé en 54 parties, sur lequel sont tracés autant de lettres, chiffres ou signes. Ce cercle est lui-même monté sur une roue à dents de rochet, divisée en 54 parties et tournant librement sur une broche en acier, fixée au montant en bois de l'appareil.

Un sautoir engrène dans les dents de la roue et fixe la position de chaque lettre. Sur l'axe prolongé du sautoir est monté un petit bras auquel est fixé un ressort à boudin dont l'extrémité inférieure est attachée à la lame de cuivre rouge destinée à être mise instantanément en contact avec une autre lame de même métal pour former le circuit électrique.

L'expérience ayant démontré que l'électricité altérait les deux lames de cuivre rouge au point où le contact a lieu, et y déterminait un oxide qui finissait par interrompre l'action de l'électricité, M. Garnier a cherché quels seraient les métaux les moins sujets à produire cet effet : il a trouvé que l'or pur et l'acier remplissaient toutes les conditions désirables; aussi la lame de cuivre qui se déplace est munie à son extrémité d'un petit paillon d'acier foudu, trempé dur, et celle qui est fixe est garnie d'une petite lentille en or pur. Malgré l'altération que subit encore à la longue la surface des deux métaux par le dégagement de l'étincelle électrique, il résulte néanmoins de

cette disposition qu'aucune interruption n'a plus lieu dans la transmission de l'électricité. Une petite pédale placée eu dessous de la roue à rochet sert à faire mouvoir cette dernière pour transmettre au télégraphe la dépêche donnée au moyen d'un pied de biche monté à l'extrémité opposée à celle où la main vient presser sur la pédale. Au moyen de cette disposition, les lettres se piquent très promptement les unes après les autres, en passant successivement sous un index placé au dessus de l'appareil.

Nous dirons plus loin l'avantage qui résulte de cette disposition pour la télégraphie.

Mécanisme du télégraphe.

La première disposition du télégraphe consiste en une sonnerie d'appel mise en mouvement par le cercle qui porte les signes télégraphiques, et destinée à appeler l'attention de l'employé qui doit recevoir la dépêche. Le marteau qui frappe sur le timbre est ensuite enlevé au moyen d'un petit bouton placé sur la face de l'appareil, pour qu'il ne sonne pas à chaque tour du cercle.

Comme on vient de le dire, les signes télégraphiques sont tracés sur un cercle dans le même ordre que ceux du transmetteur, et apparaissent à deux ouvertures dont une rectangulaire pour les lettres, et l'autre ronde pour les chiffres et autres signes. Ce cercle non denté porte perpendiculairement à son plan, et près de sa circonférence, 54 chevilles destinées à fixer chaque lettre ou signe devant les orifices sus-mentionnés, au moyen d'un échappement très simple imaginé pour cet effet; et dont la disposition est telle qu'on peut faire passer les lettres avec la plus grande rapidité sans erreur possible. L'échappement est mis en jeu par une détente à laquelle est attachée une petite tringle en cuivre, qui porte à son extrémité inférieure la platine en fer doux attirée par l'aimant temporaire, toutes les fois que le circuit électrique est fermé par le transmetteur. Un ressort à boudin placé au dessus de la détente et fixé par un de ses bouts à celle-ci, sert à équilibrer la résistance de la platine en fer doux avec la puissance attractive communiquée à l'aimant temporaire par le courant électrique. L'autre extrémité du ressort est fixée à un filet de vis qui porte un écrou destiné à tendre le ressort selon qu'il est nécessaire.

Le mouvement de rotation du cercle télégraphique est sollicité par un poids très léger attaché à un cordon qui s'enroule sur un petit cylindre dont l'axe est commun au cercle auquel il se fixe par un encliquetage. L'axe prolongé du cylindre sort par la face de l'appareil et reçoit à carré une poulie sur laquelle s'enroule un autre cordon au fur et à mesure que descend le poids, et qui est destiné à remonter celui-ci lorsqu'il a parcouru son espace.

Télégraphie.

Comme on l'a dit précédemment, les lettres, les chiffres et les signaux télégraphiques sont tracés sur les deux cercles dans un ordre tout à fait identique, sur trois lignes circulaires concentriques à l'axe de chaque cercle. La première et la seconde ligne sont composées des lettres de l'alphabet rangées dans un ordre que l'expérience a démontré, après plusieurs essais, être le plus convenable pour rendre promptement la dépêche à transmettre. La troisième ligne est formée des dix chiffres répétés quatre fois et de signes algébriques qui pourraient au besoin être remplacés par d'autres signes convenus.

Le point de repos est une barre | après laquelle vient un S peint en rouge qui signifie sonnerie, et qui est en effet le signe qui paraît lorsque la sonnerie d'appel se fait entendre; le troisième signe est un trèfle qui prévient l'employé lorsque l'on s'y arrête qu'il doit porter son attention sur le guichet des chiffres. A l'opposé de la barre de repos est une double barre || qui, ainsi que la première, indique la terminaison de chaque mot. Ceci compris, pour transmettre une dépêche, on pique vivement et uniformément avec la pédale les lettres qu'on rencontre sur le cercle de transmission en stationnant un peu sur celles qui entrent dans la composition des mots, et que doit inscrire le correspondant; quand le mot est complet on stationne également sur la barre simple ou sur la barre double, selon que l'on est plus près de l'une ou de l'autre. S'il entre des chiffres dans la composition de la dépêche, on stationne comme il a été dit devant le signe des chiffres, on pique la date ou la somme indiquée, et pour prévenir le correspondant qu'on va revenir aux lettres, on bat inégalement (comme le fait un pendule hors d'échappement), jusqu'à la prochaine lettre utile qui se présente. Plusieurs sortes

de battements peuvent être convenus et indiquer différents objets, comme aussi les lettres peuvent être remplacées par les signes de la télégraphie actuellement en usage pour la correspondance du gouvernement.

En présentant sa description à l'Académie des sciences, M. Garnier appelait l'attention sur l'extrême simplicité des éléments mécaniques qu'il a fait entrer dans la composition de ses appareils. On voit qu'il a évité d'employer les engrenages, que le moteur est un poids très léger (100 gram.) au lieu d'un ressort qui a l'inconvénient de se casser au moment le plus inattendu; que la simplicité des effets, sans nuire à leur sûreté, assure une plus longue durée aux organes qui les produisent, que le télégraphe et la sonnerie d'appel sont réunis en un seul appareil; et qu'en définitive il doit résulter de l'ensemble de ces combinaisons une longue durée de service de ces outils, une grande économie dans les frais d'établissement et d'entretien.

APPAREILS CHRONO-ÉLECTRIQUES.

Pl. 13, fig. 1 à 7.

II. *L'horloge type.*

A (fig. 1) est la platine des piliers de la pendule-type sur laquelle est tracé en plan un rouage qui diffère peu de celui d'une pendule ordinaire; B est le barillet du mouvement; C la roue de temps ou grande moyenne; D la roue de centre portant comme d'habitude sa minuterie; E la roue de champ, et F la roue d'échappement pourvue de ses chevilles; G les leviers de l'échappement. Sur l'axe du pignon d'échappement F est fixée une étoile en acier trempé *f* dont nous expliquerons l'usage plus bas. B′ est le barillet du rouage auxiliaire; C′ la grande moyenne, D′ et E′ deux roues intermédiaires; H un pignon sur l'axe duquel sont fixées trois petites ailettes *h* de 0m,002 de largeur, et dont le rayon prolongé vient rencontrer les dents de l'étoile *f*. Le pivot opposé du pignon H traverse la platine de derrière A, fig. 2, et porte à frottement sur son prolongement le petit moulinet à trois dents *a*; B est un levier en équerre porté par une broche dont le centre de mouvement est en B; le bras *h* porte en élévation sur son plan un appendice formé d'une portion de cuivre et d'une portion en acier fondu trempé dur. G′ est un fil de

cuivre rouge roulé en hélice pour faire ressort, dont le bout pénètre dans le centre du bras B, et y est fixé par une vis de pression *f*; l'autre bout communique avec le fil conducteur formant le courant électrique, et fait par conséquent partie du circuit.

D est un autre fil en cuivre rouge courbé en ressort de pistolet, et traversant le collet *d* dans lequel il est retenu par la vis de pression *e*. Le bout supérieur de ce fil est pourvu d'une petite lentille en or pur, et aboutit sous la partie en acier de l'appendice *h*, avec lequel il est en contact. C'est par là que le circuit électrique est ouvert ou fermé. L'autre bout du fil D communique avec le fil conducteur, et fait partie comme le précédent du circuit électrique.

Voici maintenant comment fonctionnent toutes ces parties: l'étoile F, fig. 1, est fixée sur l'axe de la roue d'échappement, et suit son mouvement; chacune des ailettes *h*, entraînée par le rouage accessoire, rencontre une dent de l'étoile qui ralentit sa marche, mais avec laquelle elle progresse jusqu'au moment où les deux rayons, devenus trop courts, se séparent, l'ailette fait alors un tiers de tour; la suivante rencontre, à son tour, une dent de l'étoile, en suit le mouvement et la quitte de nouveau pour recommencer indéfiniment. L'emploi de l'étoile est, comme on voit, de modérer et régulariser la rotation du rouage auxiliaire

Le moulinet *a* (fig 2), porté par le pignon des ailettes, suit aussi le même mouvement de rotation; chaque fois que l'une d'elles échappe de l'étoile, une dent du moulinet écarte le bras vertical du levier B, l'autre bras s'éloigne alors du bout supérieur du fil D sur lequel il reposait; il résulte de ce mouvement que le circuit électrique est ouvert et cesse d'affecter les électro-aimants qui mettent les appareils chronométriques en fonction; mais bientôt le moulinet *a* repris sa position primitive, ainsi que le bras *b*, le contact entre le fil D et le bras *b* étant rétabli, le circuit est formé et les électro-aimants mettent en mouvement les appareils horaires. La période de rotation est de six secondes dans les modèles exécutés, mais elle peut être réduite ou augmentée en changeant le nombre des dents de l'étoile, et l'on pourrait ainsi faire marquer la seconde à un nombre illimité d'appareils qui seraient disposés pour cet effet.

Pour éviter que l'électricité ne se perde dans les parties étrangères aux organes du contact, il existe pour chacun d'eux des gar-

nitures isolantes qui font suivre au fluide le parcours direct indiqué sur le dessin par des flèches.

III. *Premier appareil chronométrique.*

A (fig. 3) est la platine des piliers sur laquelle est tracé en plan le rouage de l'appareil, B est le barillet, C la roue de temps, D la roue de centre conduisant les aiguilles, et F la roue d'échappement dont les dents sont très dégagées. Cette roue est maintenue dans une position fixe par un contre-pivot placé à chaque bout de son axe, de manière à ne lui laisser que le jeu nécessaire pour être libre. F′ est l'axe de l'échappement placé verticalement et parallèlement à la platine; il porte en *f* un plateau d'acier horizontal dans l'épaisseur duquel est pratiquée une rainure dont une partie est inclinée dans un sens, et l'autre partie dans le sens inverse; *f′* et *f″* montrent cette rainure ainsi que le plateau séparé et réuni à son axe; *d* est un petit ressort très flexible qui ramène le plateau après son déplacement par la roue. Les points de l'axe de l'échappement et le petit ressort sont fixés en dedans de la platine de derrière, qui est traversée par la cheville *e* dont l'usage sera indiqué plus loin.

H (fig. 4) est la platine de derrière sur laquelle est vissée en élévation une brèche qui est le centre de mouvement du levier en équerre I. Le ressort J appuie sur le bras vertical de l'équerre et le maintient contre la goupille 2 placée dans la platine; l'autre bras porte une espèce de chape *k* qui reçoit à taraud la petite tringle L, au bout de laquelle est fixée la platine en fer doux M, destinée à être attirée par un électro-aimant semblable à celui de la figure 7.

Fonctions de l'appareil.

Le dessin des fig. 3 et 4 indique la position des organes quand le circuit électrique est ouvert. L'une des dents de la roue d'échappement F est au repos sur le plan horizontal *f*, tout près du bord de l'entaille inclinée. Dès que le circuit est fermé, l'électro-aimant attire la platine en fer doux M, fait fléchir le bras horizontal de l'équerre, dont l'autre bras se meut dans le sens de la goupille 1, et déplace la cheville *e* fixée à l'assiette de l'axe du plateau; ce dernier, par le petit mouvement produit, permet à la dent de la roue d'échappement qui était au repos de s'engager dans l'entaille incli-

née, et comme la roue est sollicitée par le ressort moteur, la dent continue le déplacement du plateau, et vient s'arrêter dans l'angle de l'entaille où elle reste jusqu'au moment où le circuit est ouvert : le plateau poussé par le petit ressort *d* revient alors sur lui-même, la dent achève de parcourir la rainure, et la suivante se pose à son tour sur la partie horizontale du plateau. Les mêmes fonctions se renouvellent chaque fois que l'électricité est mise en jeu. Le ressort J est non seulement destiné à ramener le bras I à sa place, mais encore à équilibrer le poids de la plaque M, ce qu'on obtient en tournant la vis 3 dont la tête est excentrique à son taraud.

IV. *Deuxième appareil chronométrique.*

A, fig. 5, est la platine sur laquelle sont montées en élévation les pièces de l'appareil. B est une roue dentée en rochet, montée sur son pignon *b*, engrenant dans la roue C, dentée à l'ordinaire, et montée sur un arbre dont le prolongement sert à porter la communication des aiguilles. D, point faisant office de cage dans lequel roulent les pivots supérieurs des deux roues. E, valet ou sautoir, dont la tête pénètre dans l'intervalle des dents de la roue en rochet, pour la fixer et l'empêcher de rétrograder; *e*, ressort qui maintient le valet dans sa position. F, levier qui met tout en jeu (la fig. 6 le montre séparément); il a son centre de mouvement sur une broche vissée sur la platine A; G, petit ressort fixé sur le haut du levier, dont la tête angulaire entre aussi dans les dents du rochet B; H, butoir également fixé sur le levier E. *f*, petit bras du levier auquel est attachée la chape dans laquelle entre à taraud la tige I, dont le prolongement porte la platine en fer doux. J, ressort dont le bout appuie sur le petit bras *f*, pour ramener le levier F à son point, et dont la vis à tête excentrique *d* règle la pression. *k*, fig. 7, barrette montée à carré sur le prolongement de l'axe de la roue C, pour entraîner les aiguilles de l'horloge, au moyen d'une broche qui entre dans la rainure pratiquée à son extrémité. L, électro-aimant qui détermine le mouvement de l'appareil; M, la platine en fer doux fixée au bout de la petite tige I; N, point d'attache de la petite tige avec le levier F.

Fonctions de l'appareil.

La fig. 5 représente l'appareil prêt à fonctionner. L'horloge-type faisant passer actuellement le courant électrique dans l'aimant temporaire L, la platine en fer doux M est attirée, et avec elle le levier F, auquel elle est liée par la tringle I; celui-ci est affecté d'un mouvement de gauche à droite équivalent à l'intervalle de deux dents de rochet B; la tête du petit ressort G, qui est engagé dans l'une des dents de ce rochet, entraîne la dent avec lui, et le valet E se place devant la dent suivante pour empêcher le recul qui aurait lieu quand le levier F viendra remettre le ressort G en prise. Dès que le circuit est ouvert, la platine en fer doux quitte l'aimant, et le levier F, sollicité par le ressort J, vient reprendre sa première position, ainsi que le petit ressort G, qui cède en passant par dessus la dent du rochet qu'il doit entraîner à l'action suivante. Le butoir H, fixé sur le levier F, empêche le passage de deux dents à la fois, en pénétrant dans une dent du rochet B chaque fois que le levier F est mis en jeu.

Comme on le voit, cet appareil produit ses fonctions par l'action directe de l'électricité sur le levier F, lequel met en mouvement le rochet B, dont le pignon fait marcher la roue C, qui à son tour communique le mouvement aux aiguilles.

Dans le premier appareil, au contraire, c'est un ressort moteur qui communique l'action au rouage qui entraîne les aiguilles, dont la marche est subordonnée à l'échappement mis en jeu par l'électricité.

NOUVEAU MODÈLE DE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE INVENTÉ PAR LE PROFESSEUR L. PALMIERI.

Pl. 15, fig. 1.

En étudiant les divers appareils de télégraphie, il a semblé à M. Palmieri qu'on pouvait y apporter quelques perfectionnements tendant spécialement à les rendre plus simples et aptes à transmettre la dépêche sans risque d'erreurs. M. Pouillet, en effet, dans la dernière édition de ses *Éléments de physique*, dit, à propos des télégraphes électriques, qu'on s'est beaucoup appliqué à reproduire l'alphabet d'une station à l'autre, mais peu à éviter les erreurs de

la part de celui qui transmet la dépêche et de celui qui la reçoit. Le modèle du professeur italien a été élégamment exécuté par le jeune mécanicien Gio. Bandiéri.

« Sur une base en bois ou plateau *r*, *r*, est fixé, au moyen d'un support convenable, l'aimant temporaire *k*, *k*, sous lequel, à une petite distance, se trouve l'armure *m*, formant l'extrémité d'un levier *mn*, dont l'autre extrémité *n* porte un pinceau *s*. Chacun comprend que, lorsque l'armure *m* est attirée par l'aimant temporaire, le pinceau *s* doit s'abaisser. Les deux bouts du fil de cuivre qui entoure l'aimant sont fixés en *f* et en *z*. Un conducteur part de *z*, et se contournant sur le plateau, vient se terminer en *g*, au pied d'une petite colonne en métal qui s'élève sur ce point.

» Un mécanisme d'horlogerie placé en *p* et mû par le poids *q*, fait tourner sur l'axe *ch* les deux cylindres ou tambours *b* et *a*, le premier desquels est en métal et porte une cannelure en hélice à sa superficie; le second est en bois et porte une feuille de papier roulée sur sa surface extérieure. Sur la face antérieure de ce second cylindre est tracé un cadran portant les lettres de l'alphabet et les signes numériques. Du point *e* part un ressort de pression qui va s'appuyer sur l'axe *ch*, et de l'extrémité de la colonne *g* part un autre ressort *v*, qui va, à volonté, s'appuyer sur la superficie du tambour *b*.

» Dans la cannelure de ce tambour *b* qui s'appelle cylindre de composition, on peut placer alternativement des morceaux de métal et de bois, de diverses grandeurs, et selon des combinaisons diverses.

» Supposons d'abord que le ressort *v* ne touche pas la superficie du cylindre de composition, et que le courant d'une pile entré par *f*, tourne autour de l'aimant temporaire, descende par *z*, et se rende par *zdg* à l'autre pôle de la pile; il est clair qu'alors l'armure sera attirée: dans ce mouvement, un petit renvoi fera frapper un marteau sur le timbre *l*, et le pinceau *s* viendra s'appuyer sur le tambour *a*, qu'on appelle cylindre d'impression. L'armure restant ainsi attachée à l'aimant, et le tambour tournant sur son axe, le pinceau tracerait sur le cylindre d'impression une ligne continue qui serait une hélice; car le mécanisme d'horlogerie est disposé de manière qu'il transporte lentement l'axe en avant, en même temps qu'il le

fait tourner. Qu'on imagine maintenant au point *d* un moyen fort simple d'interrompre et de rétablir, à volonté, le circuit du courant électrique. Il est clair que le pinceau pourra produire sur le papier des points et des lignes de longueurs variées à volonté. Si le même courant anime deux appareils égaux et semblables, les deux pinceaux donneront le même résultat, et les mêmes figures sur les deux cylindres, de sorte que, en écrivant dans une station, il est certain que les traits se reproduiront exactement à l'autre station, fût-elle à cent milles de distance. Si, en transmettant la dépêche, le correspondant s'aperçoit qu'il a commis quelque erreur, il en avertit l'autre station au moyen d'un signe convenu d'avance, et lorsque la dépêche est terminée, il peut la relire et transmettre au besoin un errata. Jusqu'ici ce télégraphe me semble beaucoup plus simple que ceux de Morse et de Jacobi. Que si on voulait faire usage de l'alphabet ordinaire et des nombres, comme dans l'appareil de Wheatstone, dans ce cas, au moment où la lettre ou le chiffre du cadran qui se trouve sur la partie antérieure du cylindre d'impression *a* arrive sous le pinceau, on ferme le circuit et on trace un signe; mais ce moyen, quoique déjà perfectionné par mon appareil, si on le compare à celui de Wheatstone, me semble néanmoins le moins avantageux de tous, à cause de la perte de temps qu'il entraine.

» Quelques mots sur l'usage du cylindre de *composition o*. Si, dans sa cannelure, on dispose des pièces de bois et de métal alternativement et suivant un certain ordre, il est clair que le ressort *v*, qui s'appuie sur ces pièces, attirera l'armure et fera descendre le pinceau sur le papier toutes les fois que ce ressort rencontrera le métal, et que, aussitôt qu'il portera sur le bois, l'armure sera abandonnée et le pinceau relevé. D'où il suit que si le ressort agit sur une pièce métallique très courte, on obtiendra un point; si la pièce a plus ou moins de surface, on aura une ligne plus ou moins longue. Une dépêche ainsi composée sur le cylindre se transmet d'une manière infaillible, puisque l'effet de l'appareil est indépendant de l'attention de celui qui écrit.

» Le timbre n'est pas seulement établi comme signal d'avertissement ou alarme; il peut fournir à certains signes conformes aux besoins des stations. »

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES DE MM. BRETT, LITTLE, ETC.

Il a été grandement question en Angleterre pendant l'année 1847 de perfectionnements apportés à la télégraphie électrique par M. Brett; mais nous n'avons trouvé nulle part les dessins des nouveaux appareils. Nous n'avons pour les faire connaître à nos lecteurs qu'un extrait fort obscur du brevet d'invention pris le 11 février 1847, et diverses notes apologétiques publiées dans le *Mechanic's Magazine* par un certain M. French, qui a tout l'air de n'être qu'un bienveillant compère de l'inventeur. L'extrait du brevet ne nous a appris qu'une chose, c'est que le grand cheval de bataille de M. Brett et son secret tant vanté consistent simplement dans l'emploi plus ou moins heureux d'un anneau ou pièce métallique partiellement aimantée ou magnétisée. La prose de M. French témoigne de son ignorance profonde; et il a été victorieusement réfuté par un habile adversaire, par M. Wheatstone lui-même, qui, nous le croyons, s'est caché sous le nom modeste de tyro-électricus : nous n'analyserons pas cette longue controverse, dont la lecture nous a tant fatigué, sans nous apporter l'ombre même d'une idée neuve. Quand M. Brett aura publiquement réalisé son invention, quand il aura réellement imprimé 300 et même 3000 lettres par minute, comme il prétend le faire, nous nous occuperons sérieusement de lui.

Devenu inventeur à son tour, M. French a proposé divers perfectionnements tout à fait insignifiants, il nous semble, et que nous ne ferons pas connaître.

Nous voyons par les comptes rendus de l'Académie des sciences 1° que le 28 septembre 1845 M. Berthaud, professeur de physique au collége de La Rochelle, a adressé un mémoire sur les perfectionnements qu'on pourrait introduire dans la construction des télégraphes électriques; 2° qu'à diverses reprises M. Bain a soumis au jugement de l'Académie des sciences ses appareils de télégraphie électrique, et entre autres un loch nouveau, ou instrument destiné à mesurer d'une manière continue la vitesse des navires (séance du 22 octobre 1845). Nous avons tout mis en œuvre pour obtenir communication de ces mémoires, qui avaient dû être déposés au se-

crétariat de l'Institut ; nos efforts ont été inutiles ; renvoyés à la commission chargée d'en faire l'objet d'un rapport, ils n'ont plus reparu, et il est impossible de songer même à retrouver leur trace. Il est plus d'un académicien dont le cabinet de travail est un abîme sans fond : *Flumina intrant in mare, et mare non redundat :* avis aux auteurs ! Nous regrettons vivement de ne pouvoir donner même une idée du loch de M. Bain, charmante et utile application de la télégraphie électrique. M. Eugène Arnoult aurait seul pu sauver du naufrage la description donnée par M. Bain, mais dans son compte rendu de la séance du 29 octobre il n'a recueilli que ce qui concernait l'horloge dont nous avons donné le dessin.

Un physicien habile, professeur à l'Université de Liége, M. Glaesener, a adressé tout récemment à l'Académie des sciences une note très intéressante sur diverses modifications apportées aux télégraphes et aux horloges magnétiques ; si nous n'étions pas si empressé de mettre fin à cette trop longue étude, nous aurions demandé à M. Glaesener, qui nous honore de son amitié, les dessins de ses appareils ; bornons-nous pour le moment à rapporter la note insérée dans les *Comptes rendus de l'Académie.*

La modification fondamentale imaginée par M. Glaesener se rapproche beaucoup du perfectionnement proposé par M. Dujardin, et que nous avons longuement décrit.

« *Horloge électrique sans pile.* — Pour développer un courant magnéto-électrique d'une intensité suffisante pour faire marcher une horloge électrique, ou un télégraphe, par le mouvement d'une horloge réglée sur celui du soleil moyen, j'avais à remplir ces deux conditions : 1° de rapprocher et d'éloigner très promptement le fer de contact des pôles de l'aimant ; et 2° de le faire régulièrement au bout de chaque seconde ou au bout de chaque cinq secondes.

» Or, le mouvement de la roue d'échappement d'une horloge est trop lent, et il est d'ailleurs beaucoup trop faible, même après que les poids de l'horloge sont doublés et triplés, pour détacher le fer de contact des pôles de l'aimant qu'il faut employer. Pour vaincre cette difficulté, j'ai conçu l'idée de comparer les effets chimiques, physiologiques et physiques qu'on produit en détachant le fer de contact de deux pôles à la fois, et le faisant ensuite retomber subitement, à ceux qu'on obtient si, à l'aide d'une charnière, on fixe

un des bouts du fer de contact à l'un des pôles de l'aimant, et que l'on adapte à l'autre bout une tige métallique que l'on soulève et que l'on fait tomber promptement au moyen d'une excentrique fixée sur l'axe horizontal mis en mouvement de rotation par une manivelle.

» Or, les effets sont les mêmes dans les deux cas, du moins je n'ai pu reconnaître de différence sensible entre les résultats obtenus dans les deux cas, et cependant l'effort à employer pour soulever le fer de contact lorsqu'il était fixé par un de ses bouts sur l'un des pôles de l'aimant, était beaucoup plus faible que celui qu'il fallait faire dans l'autre cas. C'est d'après ce principe démontré que j'ai construit mon horloge, mon transmetteur et mon appareil magnéto-électrique, plus simple par sa composition et sa construction, et plus énergique par ses effets que tous les appareils de ce genre connus.

» Pour rapprocher subitement et éloigner ensuite le fer de contact des pôles de l'aimant, je fixe l'aimant, les pôles étant entourés de deux électro-bobines de 1300 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre de diametre, sur une planche devant l'horloge et un peu au-dessus, de manière que le fer de contact, retenu par sa charnière à l'attraction de l'aimant, est dans une position verticale. Devant la roue d'échappement, j'ai disposé un axe horizontal portant un levier droit incliné à l'horizon et retenu par un guide, dont un bout passait sous les dents de la roue, tandis qu'à l'autre était fixé un marteau. Chaque dent de la roue soulevait le levier qui, retombant après subitement, frappait vivement la tige fixée sur le prolongement du fer du contact, détachait celui-ci de l'un des pôles (et aussi en partie de l'autre) de l'aimant; un aimant électrique se produisait un instant après, le fer de contact retombait par son poids, et était attiré jusqu'au contact par l'aimant, un nouvel aimant se produisant; et ainsi de suite.

» En procédant de cette manière, j'ai construit une horloge électrique donnant les heures, les minutes et les secondes d'une manière très régulière, et une autre horloge qui ne donnait que les cinq secondes. De pareilles horloges, une fois réglées, pourront marcher pendant des années entières, sans qu'on ait à y

apporter le moindre changement, si l'horloge principale est bien réglée.

» *Nouveau transmetteur dans les télégraphes avec les lettres alphabétiques.* — Je me sers de l'aimant employé dans mon horloge pour développer le courant électrique; je soulève et laisse retomber le fer de contact à l'aide d'une excentrique à deux dents mises en mouvement par une manivelle. Une roue de douze dents est fixée sur l'axe de l'excentrique, et engrène avec une autre de quatre-vingt-quatre dents, placée à côté sur un axe isolé, sur lequel se trouve aussi un cadran avec les vingt-huit lettres de l'alphabet, qui passent lorsque la manivelle tourne successivement devant une aiguille fixe. Lorsqu'une lettre a passé, la manivelle peut tourner de 60 degrés environ, avant qu'une autre lettre passe. C'est là ce qui donne plus de sécurité à la marche de l'aiguille. Le mouvement est d'ailleurs si facile, si doux, et la lecture des lettres si commode, que, sous ce triple rapport, le transmetteur que je propose me paraît préférable au manipulateur qu'on a employé jusqu'ici.

» *Transmetteur simultané des mêmes dépêches dans deux ou même plusieurs directions différentes.* — On fixe sur le fer doux de contact deux électro-bobines semblables à celles de l'aimant, et par le mouvement de l'appareil on produit un courant dans les bobines du fer de contact, et un autre dans celle de l'aimant; chacun de ces courants fait marcher un télégraphe. On pourra aussi, par le même moyen, communiquer le temps d'une station centrale à d'autres stations des chemins de fer On pourra juxtaposer trois appareils semblables et développer six courants électriques dans le même instant, à l'aide du même appareil. On pourrait encore tirer parti de cet appareil pour la détermination des longitudes. On pourra produire à la fois des effets physiques par une électro-bobine, et des effets chimiques par une autre bobine; des effets électriques avec de faibles courants, et d'autres avec des courants très intenses.

» L'appareil dont je fais usage pour ces trois destinations diverses donne des décompositions si fortes, que jamais je n'ai pu en obtenir de pareilles avec l'appareil de Clarke. On peut réunir plusieurs appareils simples sur une même planche; combiner, par exemple, les fils de 2, 3, 4, 6 électro-bobines de différentes manières, et obtenir

des effets que l'on ne pourra réaliser par aucun autre appareil magnéto-électrique.

» *Suppression du ressort à boudin dans les horloges électriques et dans les télégraphes.* — Si l'on met de deux côtés de la plaque motrice de fer deux électro-aimants semblables, et que l'on conduise le courant électrique alternativement dans l'un et dans l'autre des électro-aimants, on pourra supprimer le ressort à boudin. Mais pour cela, il faut employer un troisième fil, ce qui deviendrait un peu coûteux lorsqu'il s'agit des télégraphes; on gagne par cette suppression, non seulement sous le rapport de la sécurité de la marche de l'aiguille, mais encore en ce que le courant n'a plus à vaincre la résistance du ressort. J'ai fait marcher pendant quatre jours une horloge sans ressorts, et jamais la plaque motrice n'est restée en contact avec les électro-aimants. »

CHRONOSCOPE DE M. SIEMENS.

» M. Siemens, dans un aperçu historique des nouveaux procédés servant à mesurer des espaces de temps fort courts, tels que ceux qui séparent les positions d'un projectile dans différents points de sa trajectoire, réclame au nom d'une commission royale d'officiers d'artillerie prussiens, la priorité de la conception et de l'exécution de l'idée d'employer, pour cet objet, les effets électro-magnétiques du courant voltaïque. Il appuie ses assertions tant de documents qui sont dans la possession du ministère de la guerre, que d'une publication suffisamment détaillée faite dans les papiers publics de la capitale. Des communications relatives à ce sujet ont d'ailleurs été faites dans le temps, à leur demande, aux ministres résidents de la France et de la Russie à la cour de Berlin.

» M. Siemens propose en même temps un nouveau mode d'application de l'électricité, pour atteindre le même but dont voici, en peu de mots, le principe. Quand une surface métallique polie est soumise à l'étincelle électrique, on trouve que chaque étincelle y laisse une trace extrêmement déliée, quoique bien distincte, en forme d'une petite tache dont la couleur et la nature varient d'après la nature des métaux qu'on emploie. Une plaque d'acier, par exemple, une lame de rasoir, conservant encore tout son premier

poli est ce qu'il y a de mieux pour s'assurer de ce phénomène. Maintenant, qu'on imagine un cylindre d'acier poli à pourtour divisé, tournant sur son axe avec une vitesse appropriée, et une pointe métallique établie à une distance fort courte vis-à-vis de ce cylindre, dont la marche sera d'ailleurs réglée à l'aide d'un pendule conique. La pointe et le cylindre font partie des circuits de deux batteries de Leyde qui se trouvent interrompus aux deux points de la course du projectile entre lesquels il s'agit de mesurer sa vitesse. Le projectile, en traversant la première station, complète le circuit de la première batterie, une étincelle jaillit entre la pointe et le cylindre, et y fait sa marque. Le cylindre continue de tourner, et le boulet, en complétant le second circuit, donne lieu à une seconde marque dont la distance à la première évaluée en degrés de circonférence, sert, comme dans les autres appareils de ce genre, à déterminer le temps qui s'est écoulé entre les deux étincelles.

» Voici, au reste, le dispositif à l'aide duquel le boulet complète le circuit. Un certain nombre de fils métalliques régulièrement espacés entre eux et isolés l'un de l'autre, est tendu sur un cadre, et ces fils communiquent alternativement avec les deux extrémités du circuit de la batterie, de sorte que le premier, le troisième, le cinquième sont en rapport avec l'une d'elles, tandis que l'autre va rejoindre tous les fils de nombre pair. Le boulet, en traversant le cadre, est censé fermer le circuit en établissant une communication métallique entre deux fils quelconques. Les avantages du mode d'expérimentation proposé par M. Siemens sont clairs. En effet, dans tous les chronoscopes électriques actuellement en usage et dont le cylindre tournant de Thomas Young forme la base, les marques imprimées à la surface de ce cylindre sont toujours obtenues au moyen d'appareils mécaniques plus ou moins compliqués, plus ou moins sujets par conséquent à toutes sortes d'irrégularités et de vicissitudes. Dans tous ces chronoscopes, l'exactitude de la mesure obtenue dépend essentiellement de l'égalité parfaite des fractions de temps qui s'écoulent pendant que fonctionnent les appareils qui servent à établir les marques au commencement et à la fin de l'espace de temps qu'il s'agit d'évaluer, et il peut se faire que ces fractions soient tellement considérables par rapport à ce dernier, que le moindre excès de l'une sur l'autre devienne la source

des erreurs les plus sensibles. Dans l'horloge de la commission royale ci-dessus mentionnée, la chute consécutive des ancres de deux électro-aimauts dégage d'abord et arrête ensuite au milieu de sa course une aiguille extrêmement légère qui, lorsqu'elle est abandonnée à elle-même, parcourt le cadran entier dans l'espace de deux secondes. Dans ce cas, l'action de dégager et celle d'arrêter l'aiguille, requièrent des espaces de temps sensiblement différents, de sorte qu'il y a une erreur constante à déterminer, et des variations de cette erreur à craindre Dans le chronoscope de M. Siemens, plus d'erreur constante à étudier, plus d'incertitudes de ce genre à redouter: c'est une constante de la nature, infiniment petite par rapport au temps que met le projectile à parcourir même une petite partie de sa trajectoire. c'est la vitesse de propagation immense du fluide électrique qui entre en ligne de compte, ce qui revient à dire qu'une telle constaute se trouve ici complètement éliminée. De là la possibilité de rapprocher les deux stations, ce qui lève les difficultés qu'on pourrait voir dans le projet de M. Siemens dans l'isolation de longs circuits destinés à conduire les décharges de l'électricité de tension, et ce qui, en outre, peut être d'une grande utilité dans les recherches soit théoriques, soit pratiques, qu'on se propose de faire à l'aide d'instruments de ce genre. En effet, M. Siemens ne doute pas que dans son chronoscope électrique on ne puisse réduire à quelques pieds la distance des deux stations de départ et d'arrivée, en sorte qu'il sera possible de les choisir daus l'intérieur même du canon qui lance le projectile. D'une part cette manière reudra possible la solution de plusieurs problèmes intéressauts et relatifs à la rapidité de combustion plus ou moins grande des poudres, etc.; de l'autre, M. Siemens espère pouvoir répéter avec facilité les expériences de M. Wheatstone sur la vitesse de propagation de la décharge de la batterie électrique. M. Siemens a confié l'exécution de son appareil aux soins de M. Léonhard, habile horloger de cette ville, et membre de la Société qui a déjà coustruit le chronoscope électro-magnétique de la commission ci-dessus mentionnée. M. Léonhard s'est engagé récemment, vis-à-vis de cette commission, à exécuter l'appareil de M. Siemens, de manière qu'on pourra évaluer avec son aide des cinq cent millièmes de seconde. »

Qu'on nous permette, à l'occasion de cette note de M. Siemens, de nous justifier d'une accusation grave que les jeunes membres de la Société de physique de Berlin ont formulée contre nous. Le secrétaire de cette Société, M. Du Bois Reymond, nous adressa, vers le mois de juillet 1846, pour être inséré dans le bulletin scientifique du journal *l'Époque*, un compte rendu de ses travaux pendant l'année 1845. Nous reçûmes avec joie cette communication, et nous l'insérâmes en entier dans le journal, en la faisant précéder d'un préambule fort louangeux pour les jeunes physiciens de Berlin. Il était impossible de leur témoigner plus d'estime ; ce compte rendu occupait neuf grandes colonnes de l'immense feuille. Cette publication, néanmoins, ne se fit pas sans un petit accident. Le secrétaire de la rédaction, manquant un jour de copie, et voulant absolument remplir son journal, prit dans ce compte rendu, qui était imprimé depuis plusieurs jours, un fragment assez intéressant pour faire partie des faits divers. Il tomba précisément sur le curieux passage relatif au chronoscope de M. Siemens, dont il inséra un fragment. Le reste de ce passage parut le lendemain dans le journal des sciences; en réailté, rien ne fut omis, mais voici une péripétie nouvelle. M. Quesneville avait pour coutume de reproduire dans la *Revue scientifique* les articles que nous composions pour *l'Époque*. Le compte rendu des travaux de la Société de physique de Berlin le frappa; il lui donna donc place dans ses pages, mais sans remarquer que le passage relatif à M. Siemens devait être complété par le long fragment imprimé dans le journal de la veille; le fragment fut donc omis dans la *Revue*, de là le mécontentement de M. Siemens, et la salute colère de ses savants collègues, qui nous ont fort maltraité dans une addition au volume publié par eux en 1847 sous ce titre : *Die fortschritte der physik im jahr* 1845. I. *Jarhgang, zweite abtheilung redigirt von dr.* G. Karsten. Nous ne sommes accusé de rien moins que d'avoir mutilé arbitrairement et volontairement un travail littéraire qui nous avait été confié : *eine eigenmaechtige verstummelung einer anvertrauten literarischen arbeit.* Qu'on juge de notre étonnement quand, en parcourant ce précieux volume, nous sommes tombé sur cet anathème lancé si légèrement contre nous. Le rédacteur, M. G. Karsten, se trouvait alors à Paris ; nous courûmes chez lui,

nous lui remîmes les quatre numéros de *l'Époque*, et il s'assura sans peine 1° que la notice sur le chronoscope de M. Siemens avait été insérée tout entière dans le journal; (l'insertion du premier fragment dans les faits divers avait eu même pour effet de donner une immense publicité à la belle invention du savant officier d'artillerie, car plusieurs journaux reproduisirent le lendemain cette annonce pleine d'intérêt); 2° que les noms des auteurs cités dans le compte-rendu n'étaient en aucune manière défigurés, ainsi qu'ils l'étaient dans l'article de la *Revue scientifique*, imprimé sans notre participation; 3° que loin d'avoir rien à nous reprocher, nous avions traité avec les plus grands égards une Société qui a toutes nos sympathies. Si nous avions omis les dates des jours de séance, c'est uniquement parce que ces dates eussent paru singulières dans un journal quotidien, et que du reste elles avaient en elles-mêmes peu d'importance. Il serait absurde de faire peser plus longtemps sur nous la responsabilité d'une inadvertance de M. Quesneville: nous espérons bien que dans le prochain volume de leurs *Forschritte*, MM. Siemens et Karsten rétracteront une accusation qui ne repose sur aucun fondement, et regretteront le chagrin qu'ils ont causé à leur ami le plus dévoué, à celui qu'on accuse en France de prendre trop d'intérêt aux travaux des étrangers, de les faire trop valoir aux dépens quelquefois des droits de ses compatriotes. Ces accusations contraires se détruisent heureusement, et notre conscience nous rend ce témoignage que nous avons applaudi avec joie aux progrès de la science partout où ils nous ont apparu sans acception de personnes et de nations; ce long travail sur la télégraphie sera, nous n'en doutons pas, la preuve la plus éclatante et la plus irrécusable de notre impartialité. La rétraction a été faite.

CHRONOSCOPE DE M. POUILLET.

A tout ce que nous avons dit des moyens inventés par M. Pouillet pour mesurer la vitesse de l'électricité et celle des projectiles, nous n'avons à ajouter qu'un seul mot : la fig. 4, pl. 14, représente le petit appareil à l'aide duquel il a essayé de mesurer la vitesse d'inflammation de la poudre; cette figure, du reste, se comprend par elle-même et ne demande aucune explication.

Qu'on nous permette seulement de rectifier une erreur capitale

dans laquelle nous étions tombé. Trompé par les affirmations si précises de M. Pouillet, nous avons admis que l'illustre Ohm n'avait pas démontré par l'expérience la vérité de ses fameuses lois : cette assertion a profondément étonné les physiciens allemands. Dans notre voyage à Berlin, M. Poggendorff nous témoigna à ce sujet la plus vive surprise, et il nous promit de nous adresser une note dans laquelle il rétablirait clairement les droits de son savant compatriote. En l'absence de cette note, qui ne nous est pas parvenue, nous emprunterons à un article inséré par le docteur W. Beetz, dans le second volume des *Forschritte der physik*, quelques citations qui suffisent à faire disparaître jusqu'à l'ombre du doute. 1° Quiconque lira attentivement le mémoire publié par Ohm sous ce titre *Die galvanische kette*, la pile galvanique, restera convaincu, contrairement aux affirmations de M. Pouillet, que le physicien allemand a complétement analysé les résistances du circuit, soit celles qui appartiennent à la pile elle-même, soit celles qui proviennent des conducteurs. 2° Il n'est pas moins certain que Ohm ne s'est pas *contenté de donner de sa pensée une démonstration mathématique*, qu'il n'a pas donné ses lois comme *conséquence d'une pure hypothèse*, mais qu'il les a démontrées réellement par des expériences directes faites en 1826 avec la pile thermo-électrique, à effets constants. Dans son éloge de Seebeck, publié en 1839, M. Poggendorff remarquait précisément que la grande découverte de la thermo-électricité avait eu pour premier résultat capital de fournir à M. Ohm le moyen facile de prouver par l'expérience ses immortelles lois. 3° Dans son célèbre travail intitulé *Maas bestimmungen*, M. Fechner a pris pour point de départ non les principes et les méthodes de M. Pouillet, comme celui-ci le prétend, mais bien les recherches de Ohm, comme on s'en convaincra en parcourant une seule des pages de ce mémoire. Jamais M. Poggendorff n'a pu même penser à affirmer le contraire ; il a dit simplement que M. Pouillet, à sa connaissance, avait considéré le premier le cas général de l'inégalité des circuits partiels. 4° Il ne sera pas inutile d'opposer au langage de M. Pouillet celui de M. de la Rive (*Archives de l'électricité*, t. V, p. 449). « Et puisque nous faisons une réserve, nous en profiterons pour protester hautement contre la tendance illogique qui règne dans le livre de Ohm et dans

d'autres productions des premiers savants de l'Allemagne, tendance qui consiste à présenter les résultats des recherches instrumentales comme la conséquence de certaines lois qu'on énonce en prémisses et *à priori*; au lieu de montrer conformément à la vérité historique que ces lois découlent au contraire des expériences qu'on a faites dans un but plus ou moins déterminé, et d'avouer qu'elles sont entachées de toutes les incertitudes et de toutes les irrégularités qui peuvent être inhérentes, dans l'état actuel de la science expérimentale, aux procédés d'observation qu'on a choisis. » M Pouillet veut donc que Ohm, loin d'avoir déduit ses lois de l'expérience, les ait déduites exclusivement d'hypothèses théoriques. M. de la Rive veut, au contraire, que la théorie n'ait rien fait pressentir, et que l'expérience seule ait tout établi. La vérité incontestable est que Ohm est arrivé à ses magnifiques lois et par des considérations théoriques, et par des expériences concluantes.

On ne nous en voudra pas de ces rectifications qui étaient pour nous un devoir de conscience : *Amicus Plato, sed magis amica veritas*; l'impartialité est la condition vitale de la critique scientifique.

CHRONOSCOPE DE M. JOSEPH HENRY.

On trouvera dans les *Proceedings* de la Société américaine de Philadelphie, vol. III, p. 165, une excellente note du professeur Joseph Henry sur une méthode nouvelle de déterminer la vitesse des projectiles. Comme cette méthode ne diffère pas au fond de celles de MM. Wheatstone, Bréguet, Constantinoff, Siemens, Pouillet, et que la note ne contient pas la description des appareils imaginés par le savant américain, nous devons nous borner à cette simple mention honorable.

Terminons donc cette série trop longue peut-être de descriptions arides et de détails techniques par l'exhibition du chef-d'œuvre des chefs-d'œuvre en ce genre.

ENREGISTREUR ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE DES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE M. WHEATSTONE.

Ce merveilleux appareil est, comme nous l'avons déjà dit, le chef-d'œuvre du genre : c'est le plus remarquable, sans contredit,

des instruments qui enregistrent d'eux-mêmes les observations météorologiques, il est appelé à faire faire à la plus utile des sciences des pas de géant.

La fig. 1, pl. XIV, représente cet appareil tel qu'il est installé dans l'observatoire de Kiew : sa hauteur, en y comprenant le châssis et le pied, est d'un peu plus de six pieds anglais. Il est actuellement disposé de manière à enregistrer les indications de trois instruments : le baromètre *a*, le thermomètre *b*, et le spychromètre, ou thermomètre à boule mouillée, faisant fonction d'hygromètre *c*; mais il est susceptible d'être étendu à deux autres instruments : l'anémomètre, sans doute, et l'actinomètre. Il se compose : 1° d'une horloge régulatrice, dont A est le pendule et B le poids; à cette horloge sont fixés tous les mécanismes destinés à régler les mouvements divers; 2° d'un rouage mû par une puissance indépendante et permanente, le poids C, entièrement libre, et qui n'est mis en jeu qu'au moment où l'on fait les observations. L'observation est faite par la première partie du mécanisme, elle est enregistrée par la seconde.

Dans la description du mode d'action de l'enregistreur, il suffira de ne considérer qu'un seul instrument, le baromètre, qui, dans ce cas, est un baromètre à syphon : ce que nous disons de ce premier instrument s'appliquera à tous les autres. Reportons-nous à la fig. 2, qui représente une vue un peu déformée de la partie postérieure de l'instrument. F est un électro-aimant, un aimant temporaire, c'est-à-dire un morceau de fer doux entouré d'un grand nombre de tours d'un fil de cuivre isolé ou recouvert de soie; *k* est une armature en fer doux se mouvant sur son axe vers la droite; elle est représentée sur la figure en contact avec l'électro-aimant devenu actif par le passage du courant. Si le courant cesse, le fer doux cessera en même temps d'être aimanté, l'armature tombera : dans sa chute, son bras de levier frappera contre l'appendice ou coude du levier *m*, et rendra ainsi libre la détente du rouage indépendant qui doit imprimer les observations. L'interruption du courant et l'impression des observations sont donc toujours synchrônes, c'est-à-dire ont toujours lieu en même temps.

La route parcourue par le courant est la suivante : D est une petite pile voltaïque formée d'une plaque de cuivre, plongeant dans

une dissolution de sulfate de cuivre, et d'un vase ou tube poreux contenant de l'amalgame de zinc; le tout est renfermé dans une auge de deux pouces carrés. Le courant suit la direction des flèches qui portent des numéros d'ordre; il va du cuivre de la pile le long du fil recouvert, au rhéotome E, que nous décrirons tout à l'heure; ensuite, de l'index à la portion de l'appareil à laquelle est fixé le fil *g*; puis, par ce fil, au mercure renfermé dans la plus longue branche du baromètre *a* à syphon; il reprend plus tard le fil fin 4 et 5, va à la poulie *d*, unie par un contact métallique à l'axe en métal, et arrive au corps de l'horloge; sa route à travers les rouages métalliques de l'horloge est indiquée par la flèche 6; il entre enfin dans le fil de l'électro-aimant, le traverse et revient au pôle zinc de la pile par le fil 7. Aussi longtemps donc que le courant ne sera pas interrompu, l'électro-aimant F sera actif, et chaque fois que l'interruption aura lieu, on fera une observation. Les fils 4 et 5 sont formés de deux parties; la plus basse, qui plonge dans le mercure du baromètre, est un morceau de fil fin d'acier dont on fait les ressorts de montre; la partie supérieure est une chaîne de montre tendue par les petits poids de la figure 1. Maintenant l'axe de la poulie *d* est lié au rouage d'horlogerie, et la chaîne s'enroule sur lui: de telle sorte qu'à certains instants, le fil qui termine cette chaîne est sorti du mercure : le circuit est alors rompu, l'armature tombe, l'observation est faite. Il est évident que la portion de chaîne enroulée avant que la pointe du fil sorte du mercure est plus ou moins longue, suivant que le mercure, dans le tube, est plus haut ou plus bas; et par conséquent, si l'on a convenablement réglé les relations existantes entre le fil et le temps indiqué sur le cadran de l'horloge, on obtiendra de cette manière la hauteur de la colonne barométrique.

Dans ce but, la forme extérieure de la poulie *d* a été déterminée de telle sorte, par rapport à la course barométrique, que dans cinq minutes l'extrémité du fil passe du fond de la course à son sommet : la course, dans le cas présent, est d'un pouce et demi. L'axe est tellement disposé par rapport au rouage, qu'il enroule la chaîne dans un intervalle de cinq minutes; il cesse ensuite de fonctionner pendant une minute, temps durant lequel les poids, aidés du poids additionnel *e* descendent et ramènent le fil à sa position

normale, prêt à remonter de nouveau pour redescendre encore, etc. Ainsi l'extrémité du fil abandonne le mercure, et une observation est faite toutes les six minutes.

Sur la face opposée de l'horloge, sont deux roues à types ou caractères, fig. 3, pl. 14, dont le mouvement s'accorde parfaitement avec l'ascension et la descente du fil ci-dessus : la première de ces roues *o*, est munie de quatre rayons, portant chacun une lettre ; elle fait une révolution complète en trente secondes, deux secondes par lettre : la seconde roue *p* a douze rayons, dont dix représentent les dix chiffres, les deux autres sont en blanc : un des rayons de cette seconde roue s'avance d'un pas à chaque révolution de la première, ou en trente secondes, de sorte que le temps total de sa révolution est de six minutes, précisément l'intervalle compris entre une ascension et une descente du fil. Les cinq rayons avec chiffres correspondent aux dix demi-minutes ou aux cinq minutes de l'ascension du fil ; et les deux rayons blancs, à la minute employée par le fil à descendre, et pendant laquelle on ne fait pas d'observation.

Il est évident, dès lors, que, si la pile est en action, les communications établies, l'horloge montée et mise en mouvement, les roues à type et le fil barométrique placés dans leur position normale, les lettres et les chiffres indiqués ou tracés sur les roues, correspondront toujours à un temps déterminé et à une position déterminée de l'extrémité du fil : à un certain temps, puisqu'elles marchent avec le mouvement de l'horloge ; à une certaine position de la pointe du fil, puisque ce fil chemine lui-même avec l'horloge. Durant les cinq minutes qui forment le cycle complet du mouvement utile des roues à type, l'extrémité du fil passe par tous les points de sa course sur une longueur d'un pouce et demi ; et, comme la roue la plus rapide présente 15 lettres par demi-minute, ou 150 en cinq minutes, 150 hauteurs de mercure peuvent être appréciées, ce qui correspond à des variations d'un centième de pouce. Pendant sa période d'ascension, le fil, comme nous l'avons déjà indiqué, abandonnera le mercure à un point ou à l'autre de sa course, et interrompra alors le circuit, fera tomber l'armature et rendra libre le rouage indépendant. A ce rouage est attaché un marteau *n*, fig. 3, situé immédiatement au-dessus des rayons in-

dicateurs; il frappe alors sur eux, et imprime leurs indications sur le cylindre *f* en double exemplaire, au moyen d'un papier multiple. Le cylindre *f* est monté sur un axe en vis spirale; le mouvement d'horlogerie le fait tourner lentement, et monter à la fois le long de son axe; de sorte que les observations successives sont imprimées en hélice sur la surface du cylindre.

Maintenant, puisque chaque rayon de la petite roue à type emploie deux secondes à arriver à sa place, il arriverait souvent que le fil quitterait le mercure pendant cet intervalle très court, et il en résulterait une impression imparfaite et brouillée. Pour parer à cet inconvénient, M. Wheatstone a joint à son instrument une sorte d'appareil protecteur, par lequel le courant est retenu pendant un instant, après que le fil a quitté le mercure, toutes les fois que cela arrive pendant le changement de rayon de la roue-type. Cet appareil consiste dans un rhéotome G, fig. 2, que l'on ne voit pas, parce qu'il est placé derrière la plaque de l'horloge. C'est un cercle à 50 divisions, alternativement cuivre et ivoire, avec un index mobile. Si l'index est sur le métal, la communication est maintenue; s'il est sur l'ivoire, elle est rompue. La position de l'instrument est telle, que l'index doit toucher le métal quand le courant doit être maintenu; il fait une révolution par minute.

Tout le monde sait que l'armature n'est attirée qu'autant qu'elle est très proche de l'aimant : pour réaliser cette condition, une petite roue *l*, fig. 2, est placée sous l'armature, et mise en rotation par le mouvement d'horlogerie; elle est munie d'un petit appendice pressant contre un petit levier, et relève ainsi graduellement l'armature en la rapprochant de l'aimant, pendant la minute inactive; la figure 2 montre cette roue à l'instant où, après avoir élevé l'armature à son maximum, elle l'abandonne à l'attraction de l'aimant, et passe outre pour laisser place à l'armature lorsqu'elle tombera au moment de l'observation.

Cette description amènerait à penser que chaque instrument météorologique exigerait des roues à types et un appareil à percussion séparés; mais un mécanisme bien simple a permis à M. Wheatstone d'enregistrer les indications de tous les instruments par le même appareil. E, fig. 2, pl. 14, est un rhéotome ou interrupteur de courant, consistant en un cercle de dix secteurs en cuivre, isolés

les uns des autres par dix secteurs en ivoire; chaque secteur a un petit appendice en cuivre, auquel sont attachés les fils conducteurs. Les fils du baromètre, du thermomètre et du psychromètre occupent trois de ces secteurs : deux restent prêts à recevoir les fils des deux autres instruments, les cinq autres sont en communication avec la plaque de cuivre de la pile; un index métallique complète le circuit, en faisant communiquer les secteurs de la droite avec ceux de la gauche. Cet index fait une révolution complète en une heure, et passe au-dessus de chaque division en six minutes : pendant les cinq minutes qui correspondent à l'ascension du fil, il passe sur les secteurs métalliques; et pendant la minute restante, correspondant à la descente du fil, il passe pardessus la division en ivoire au secteur suivant. Comme maintenant chaque instrument est lié avec un secteur différent, et que chaque secteur est isolé, un seul des instruments est à la fois dans le circuit, de telle sorte que, quand l'observation barométrique est faite, l'index passe à la division suivante et amène, par exemple, le psychromètre dans le circuit; passant encore à un autre secteur, il introduit le thermomètre, etc.

La fig. 1, pl. 14, montre les fils *k* et *i*, et les poulies qui amènent dans le circuit les deux derniers instruments; leur course est de 5° à 95°; l'échelle a une longueur plus grande que celle du baromètre; les poulies, par conséquent, comme l'indique la figure, ont un diamètre plus grand : du reste, tout se reproduit de la même manière. On voit, par la description précédente, qu'on fait trois observations en dix-huit minutes, une du baromètre, l'autre du thermomètre et la troisième du psychromètre. L'instrument ne demande aucune attention, et fonctionne pendant une semaine; pendant cet intervalle, il enregistre 1008 observations. L'immersion du fil dans le mercure l'élève un peu; mais comme l'observation n'est faite qu'au moment où il le quitte, il n'y a pas d'erreur commise. Comme il n'est pas nécessaire que le circuit soit complété par du mercure, il y a peu d'instruments météorologiques auxquels ce mode d'enregistrement ne puisse s'appliquer. Il est inutile d'observer que la boite qui contient les instruments doit être convenablement exposée.

---

§ IV. VARIÉTÉS DE TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

I. DÉVELOPPEMENT DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE EN ANGLETERRE.

(Lecture faite à la Société royale par M. Walker, le 29 mai 1847.)

La ligne de chemin de fer du South-Eastern est essentiellement progressive, en ce sens qu'elle fait l'application immédiate de tous les principes nouveaux. La salle de lecture de la Société royale avait reçu 1° trois appareils à deux aiguilles de MM. Cooke et Wheatstone, semblables à ceux de Londres, Tonbridge et Douvres; 2° deux appareils à une seule aiguille comme ceux de Rugate et de Tonbridge; 3° un alarum ou alarme, ou timbre mis en vibration par une machine électro-magnétique, et employée sur la plate-forme de la station du pont de Londres, pour annoncer le départ des différents trains. Après quelques notions ou explications relatives au galvanomètre, à l'électro-aimant et à la pile, considérés comme les trois appareils essentiels de la télégraphie, après avoir décrit le métal employé comme fil conducteur, M. Walker entre dans des détails circonstanciés sur la pile particulière employée à mettre le télégraphe en action. C'est la pile ordinaire à eau acidulée; elle est formée d'une auge de douze à vingt-quatre cellules, séparées par des cloisons en ardoise, et enduites à l'extérieur de glue-marine, ou de tout autre ciment à l'épreuve de l'eau; les métaux employés sont cuivre et zinc; les cellules sont remplies avec du sable de silice très fin, et rendu humide par une solution d'eau acidulée; quand elles sont bien préparées, ces piles fonctionnent pendant plusieurs mois; il en est même qui ont fait un excellent service pendant un an sans qu'on ait eu besoin d'y toucher.

La seule opération qu'on ait fait subir à ces piles pendant l'intervalle de temps indiqué consistait dans l'addition accidentelle d'un peu d'eau acidulée; quelquefois on renouvelait le sable quand il était trop sali; quelques unes des piles, celles des tunnels par exemple, et celle de Folkstone, ont excessivement travaillé.

M. Walker a présenté aussi divers échantillons des isolateurs en terre, des extenseurs en fer, des fils conducteurs, etc. Il a longuement expliqué un grand plan représentant l'ensemble et les détails des dispositions télégraphiques du South-Eastern, indiquant la

destination de chaque fil, et faisant ressortir les avantages immenses de ce mode de communication. De Londres à Douvres, sur une distance de 88 milles, il y a quatre fils : les fils 1 et 2 forment sur toute la longueur un circuit non interrompu, n'ayant d'appareils qu'aux stations plus importantes : ces appareils sont au nombre de six, ils établissent une communication directe entre les stations de première classe de la ligne principale. Les fils 3 et 4 s'étendent aussi sur toute la distance, mais ils sont interrompus à divers intervalles, de telle sorte que la ligne entière soit subdivisée en groupes. Ces groupes, formés de 3 à 6 stations, se terminent aux stations de première classe, et comprennent toutes les petites stations intermédiaires. Les subdivisions sont Rugate, Tonbridge, Paddock-Wood et Ashford. L'extrémité Londres de la ligne se termine à volonté soit au pont de Londres, soit à Brik-Layers-Arm. A Tonbrigde s'embranchent les lignes secondaires de Maidstone et de Tonbridge-Wells ; des fils particuliers aboutissent aussi à la résidence du surintendant et du laboratoire. A Ashford commence l'embranchement qui va d'abord à Ramsgate, et là se bifurque sur Margate et Deal. La station de Folkstone a un embranchement sur le port. Voici en peu de mots 1° l'historique de l'établissement de cette ligne télégraphique :

1845.	Mars.	On ouvre la section de Maidstone.
1846.	1er janvier. .	On communique directement de Londres à Douvres.
—	16 février . .	On envoie des dépêches.
—	1er juin . . .	La ligne principale est complète.
—	1er juillet . .	On commence à signaler le passage des trains.
—	1er septemb. .	On accorde d'expédier des dépêches payées.

2° L'état authentique de tous les éléments de cet ensemble télégraphique et du travail utile produit :

Milles de chemin de fer,	150
Milles de fils,	575
Poids de ces fils,	29 tones.
Poids des timbres,	862 livres.
Instruments à double aiguille,	31
Instruments à une aiguille,	23

Alarmes ou timbres,	64 livres.		
Plaques des piles,	1200		
Livres d'acide sulfurique,	14		
Stations télégraphiques,	35		
Trains signalés pendant l'année,	210,000	à 1d	875 liv.
Dépêches transmises,	50,000	à 1s	2500 liv.
	Total,		3375 liv.
			ou 84,375 francs.

On voit, par tout ce que nous venons de dire, que la compagnie télégraphique pourra réaliser des bénéfices considérables, sans avoir de grandes dépenses à supporter, puisque l'entretien des appareils ne coûte presque rien.

M. Walker fait remarquer que quelque complexe et confus que paraisse à un œil non exercé le mode de transmission des signaux par la déviation des aiguilles, il n'en est pas moins vrai que des mots et des phrases sont envoyés et reçus de cette manière, avec une rapidité comparable à celle de l'écriture.

Établie en juin 1846, la Compagnie télégraphique, dans moins d'une année, avait appliqué son système sur une longueur de chemins de fer égale à 1200 milles anglais, de manière à réaliser une ligne télégraphique complète de Londres à Édimbourg et Dalkeith

De Nine-Elms, à travers le pont de Waterloo, jusqu'au Strand, les fils sont renfermés dans des tubes isolants enfermés eux-mêmes dans des tubes de verre; il en est de même du Strand à l'Amirauté, de sorte que l'Amirauté est maintenant en communication télégraphique complète avec Gosport.

Quant aux frais d'établissement, ils dépendent du nombre des fils, du poids des timbres, et varient de 80 à 250 livres sterling par mille anglais.

Comme dernier renseignement, nous indiquerons la marche de la ligne télégraphique de Douvres à Édimbourg, à travers toute la Grande-Bretagne.

1° Sur le chemin de fer *South-Eastern :* Douvres, Deal, Ramsgate, Margate; sur le *South-Western*, Gosport, Southampton, Londres, en tout 88 milles; avec embranchements de Nine-Elms au Strand, à l'amirauté, à Slough, Colchester et Bury Sant-Edmund. 2° sur l'*Eastern-Counties :* Cambridge, Ely, Péterborough,

99 milles, avec embranchements d'Ely sur Norwich, Yarmouth, Lovestofft, de Péterborough sur Northampton et Wolwerton. 3° sur le *Midland-Comties*, Syston, Long-Eaton, Derby, Chesterfield, Normanton, 133 milles un quart; avec embranchements de Syston sur Rugby, de Long-Eaton sur Nottingham et Lincoln, de Derby sur Birmingham, de Normanton sur Manchester et Bradford; 4° sur le *Great-Nord of England:* York, Darlington, Durham, Newcastle, Berwick, Édimbourg, Dalkeith, 250 milles un quart; avec embranchements d'York à Scarborough, de Darlington à Richmond, d'Édimbourg à Haddington.

De juin 1846 au 29 mai 1847, la Compagnie avait établi 253 stations de télégraphie électrique; avec 228 appareils à aiguille double, 61 appareils à aiguille simple, 355 timbres ou cloches, sur une longueur de 1200 milles: elle avait employé 6017 milles de fil de fer pesant 300 tonneaux. Le capital de cette compagnie, constituée par acte du parlement, est de 600,000 livres sterling, divisé en six mille actions de 100 livres chacune; elle est autorisée à transmettre les dépêches qui lui seront apportées par les particuliers, sans faveur ou exception de personne, et au prix fixé par elle. Les dépêches demandées par le gouvernement doivent toujours avoir la préférence; elles doivent être expédiées sur-le-champ, d'après un tarif convenu entre la Compagnie et le comité des lords du conseil privé.

Le gouvernement se réserve d'exiger de la Compagnie qu'elle lui accorde, à un prix débattu, le droit d'établir telle ligne télégraphique qu'il jugera nécessaire, et même, dans le cas de nécessité publique, de s'emparer de toutes les lignes télégraphiques, de contrôler toutes les dépêches, de n'accepter et envoyer que celles qu'il voudra, etc. Chacun des principaux secrétaires d'État de Sa Majesté pourra prononcer que le cas de nécessité publique existe, et mettre le sequestre, mais pour une semaine seulement, sur les lignes télégraphiques; il prolongera ensuite le sequestre de semaine en semaine, s'il le jugeait nécessaire. Bien entendu que la Compagnie, pendant le sequestre, recevra en dédommagement, du trésor public, une somme égale aux bénéfices qu'elle aurait pu réaliser, si elle était restée maîtresse du service de la ligne télégraphique.

La Compagnie de télégraphie électrique prend actuellement ses

arrangements pour transmettre le temps vrai observé chaque jour à l'Observatoire royal de Greenwich, à chacune des stations des diverses lignes de chemins de fer sur lesquels la Compagnie a établi ses télégraphes, et de ces stations à toutes les grandes villes du royaume. Chaque jour à une heure après midi, on indique le temps vrai à Greenwich, en laissant tomber une balle du haut de l'Observatoire; ce signal télégraphique, reçu par l'amirauté, est transmis sur-le-champ à la flotte, et c'est ainsi que sur chaque vaisseau on règle les chronomètres. La Compagnie télégraphique fera en sorte que cette balle, en tombant, frappe un ressort en communication avec tous les fils conducteurs des télégraphes, et détermine un courant qui fera résonner les timbres de toutes les stations.

II. DÉVELOPPEMENT DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE EN AMÉRIQUE.

(Extrait de diverses lettres de M. Morse à M. Arago.)

J'ai déjà eu l'honneur, à plusieurs reprises, de vous entretenir des télégraphes électriques des États-Unis. Depuis ma dernière communication, la ligne d'Albany à Buffalo a été complétée (elle a 350 milles). La ligne de New-York à Boston est aussi en action (environ 22 milles); celle de New-York à Albany (150 milles) sera achevée le 1er août; la ligne de New-York à Washington (environ 230 milles) marche à grands pas vers son achèvement.

Le télégraphe électrique est un moyen de communication assez généralement adopté aujourd'hui pour les nouvelles les plus importantes provenant du siége du gouvernement, pour des relations d'affaires commerciales, et même pour des correspondances particulières. Déjà, ce télégraphe a exercé une notable influence sur la presse des grands centres de population et celle des petites villes de la partie occidentale de l'état de New-York. Les journaux des grandes villes avaient jadis beaucoup d'avantages, à cause de leurs communications privilégiées plus rapides; ils n'ont plus aujourd'hui, pour leurs nouvelles, aucune supériorité sur les journaux établis près des lignes télégraphiques, lesquels reçoivent les dépêches au moment même de leur arrivée. On m'assure que cette circonstance a amené une diminution dans le nombre des abonnés des grands journaux, tandis que celui des souscripteurs des journaux de la campagne a doublé et même triplé. Sur toutes les gazettes publiées

dans l'ouest, on trouve une colonne portant en gros caractères le titre de : *Par le télégraphe électrique*, je vous en envoie plusieurs spécimens, afin que vous connaissiez la nature des communications et leur étendue. Sous ce dernier rapport, on se limite ordinairement par des considérations de dépense, et non par la difficulté de transmettre des dépêches plus étendues.

Voici l'ensemble du réseau américain déjà réalisé et qui s'étend chaque jour.

D'Albany à Buffalo,	350 milles.
De New-York à Boston,	220
— — à Albany,	150
— — à Washington,	230
De Washington à Baltimore,	40
De Baltimore à Philadelphie,	97
De Philadelphie à New-York,	88
De New-York à New-Haven,	84
De New-Haven à Hartford,	30
De Hartford à Springfield,	20
De Springfield à Boston,	98
D'Albany à Rochester,	252
Total,	1,659 milles.

Les conducteurs métalliques qui transmettent sans interruption le courant électrique de l'Océan au lac Érié, parcourent un espace de 507 milles et demi anglais, communiquant aux stations de Troy, Albany, Utica, Syracuse, Auburn et Rochester. Il y a deux circuits d'un seul fil chacun, dans toute la distance ; ce fil est en cuivre et du poids de 100 livres par mille ; il est isolé des piliers par de gros boutons de verre ; d'ailleurs il n'est enduit d'aucun vernis ou surface isolante. Le retour du courant se fait par le réservoir commun. Une pile est établie à chacune des extrémités de la ligne ; les stations intermédiaires n'ont que les appareils destinés à reproduire les signaux. Une dépêche partie de New-York est transmise à la fois à toutes les stations indiquées ci-dessus. Quant aux réponses que cette dépêche peut exiger, on a pris les mesures nécessaires pour qu'elles ne se fassent que l'une après l'autre, dans un ordre déterminé, de manière à éviter à la fois toute confusion et toute perte de temps. Un seul des deux fils est en ce mo-

ment employé sur toute la ligne ; l'autre a aujourd'hui sa deuxième batterie à Utica.

Le fil de fer adopté en Amérique par les directeurs de la Compagnie télégraphique pèse 250 livres au mille.

III. CRITIQUE DES DIFFÉRENTS MODES DE TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE, PAR M. MORSE.

Lettre du 2 février 1846.

En 1845, aux mois de septembre et de novembre, M. Morse examina avec soin aux stations de Nine-Elms, de Paddington, de Londres et d'Amsterdam, le télégraphe alphabétique de M. Wheatstone, et il s'assura, dit-il, qu'il n'expédiait en moyenne que quinze ou seize lettres par minute ; le disque ne tournait pas toujours avec régularité, il fallut plusieurs fois vérifier la transmission et répéter le signal ; il n'y avait qu'un seul fil conducteur.

En octobre et en novembre 1845, M. Morse étudia à Paris le télégraphe établi par M. Bréguet entre Paris et Rouen : on ne transmettait réellement que dix ou douze signaux par minute, et l'on employait deux fils.

En comparant les trois systèmes, américain, anglais, français, conclut M. Morse, on trouve donc que les nombres de signaux transmis dans une minute sont soixante pour le système américain, quinze pour le système anglais, dix pour le système français. Le système américain a de plus l'avantage de donner avec plus de simplicité et de sécurité des signaux écrits et permanents.

Dans une seconde lettre, à la date du 8 janvier 1847, M. Morse annonce qu'il est enfin parvenu à construire un télégraphe électrique très simple, très efficace, qui écrit les lettres de l'alphabet romain, mais avec moins de rapidité que les signes de convention employés d'abord par lui.

Nous n'avons pas besoin de faire remarquer que le jugement porté par M. Morse ne doit être accepté que sous bénéfice d'inventaire. L'illustre Américain prend toujours pour lui la meilleure part ; il veut absolument primer tous ses concurrents, soit quant à la priorité de l'invention, soit quant à la supériorité des appareils ; frère Jonathan est très exalté de sa nature.

IV. ACCIDENTS ARRIVÉS AUX LIGNES DE TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Le 29 avril 1846, la foudre tombe sur le fil d'un télégraphe électrique de M. Morse, à Lancaster, sans le fondre et sans le rompre; dans la cabane de la station, on entendit un bruit semblable à celui d'un pistolet, et plusieurs brillantes étincelles se montrèrent.

Le 18 mai 1846, le fil d'un télégraphe électrique fut brisé par la foudre; plusieurs des poteaux de support avaient été fendus ou réduits en éclats sur un tiers de leur longueur, à partir des sommets; on y suivait en outre la marche du fluide électrique jusqu'au sol.

La chute de la foudre et la rupture du fil furent accompagnées d'un bruit semblable à celui qui résulterait de la décharge successive et presque simultanée de deux à trois mousquets.

Le 3 juin, la foudre rompit le fil du télégraphe électrique, entre Washington et Baltimore, de telle sorte que les communications entre les deux villes cessèrent pendant quelques heures.

Le 4 juin 1846, trois nuées orageuses marchèrent à la rencontre l'une de l'autre, dans une région comprise entre Washington et Baltimore; à chaque coup de tonnerre, les signaux du télégraphe de Morse jouèrent à Jersey, à Philadelphie, à Wilmington et à Baltimore.

Une tempête d'une violence sans égale se déchaîna le samedi 28 mars 1847 sur la côte atlantique en Amérique. Aucun événement, depuis la construction des lignes télégraphiques, n'avait autant découragé et désespéré les entrepreneurs que la destruction et le renversement de poteaux causés par cette tempête. De New-Brunswick à Philadelphie, sur une étendue de plus de 50 milles, quelques poteaux à peine restaient debout. Mais la circonstance la plus extraordinaire de ce désastre, circonstance qui ne se présentera probablement pas une fois dans un siècle, et qui peut-être même ne se reproduira jamais, c'est qu'une couche de glace d'un pouce d'épaisseur recouvrait les fils conducteurs.

Les fils ont souvent été brisés par la méchanceté, au moment précis où l'on avait à transmettre les nouvelles les plus importantes.

Plusieurs accidents semblables sont survenus en France et en Angleterre, mais assez rarement pour qu'ils ne soient qu'une exception, et qu'ils ne puissent pas fournir à l'opposition même systématique une apparence d'objection contre la télégraphie électrique.

V. SERVICES RENDUS PAR LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE.

Messages divers.

Quand le bateau à vapeur *Britannia* arriva à Bostou, en janvier 1847, avec la nouvelle de la disette qui régnait en Angleterre, en Irlande et dans divers États européens, et avec de très nombreuses commandes d'achat de blé, les fermiers de l'intérieur de l'État de New-York, informés de l'état des choses par le télégraphe électrique, se mirent sur-le-champ en campagne. Le navire avait à peine atteint le port de Bostou, que déjà les routes d'Albany étaient couvertes d'innombrables attelages apportant le blé demandé. Grâce donc au télégraphe électrique, le blé était réuni dans le port après un intervalle de temps plus court que celui employé autrefois pour transmettre aux divers États la nouvelle de l'arrivée du bateau à vapeur.

Le discours de la reine pour la prorogation du parlement fut transmis de Londres à Norwick à la distance de 126 milles dans moins de dix-huit minutes.

Sur les vaisseaux à vapeur, les ordres sont ordinairement transmis du tillac à la chambre des machines au moyen du porte-voix, et c'est un inconvénient grave pour les personnes du bord dont le repos est sans cesse troublé par des hurlements désagréables. On a eu l'heureuse idée de substituer le télégraphe électrique à ce moyen de communication barbare sur le yacht royal *Victoria et Albert;* l'appareil se compose simplement de deux timbres et de deux cadrans portant les indications suivantes : en *avant*, en *arrière*, à *toute vitesse*, à *demi-vitesse*, *lentement*, *arrêtez*. Avant de transmettre un ordre, l'officier, sur le tillac, fait sonner le timbre du machiniste et celui-ci à son tour fait sonner le timbre du capitaine pour annoncer qu'il est sur ses gardes. Le capitaine alors,

à l'aide de sa manivelle, fait arriver l'aiguille de son cadran sur le signal ou ordre qu'il s'agit de transmettre; l'aiguille du cadran que le machiniste regarde prend aussitôt la même position, et l'ordre est transmis. Il n'est pas douteux que dans un court délai cette méthode si simple sera partout adoptée.

Un journal américain a raconté le fait suivant: Hier, avant midi, un monsieur entra dans le cabinet du télégraphe à Buffalo, et témoigna le désir de consulter le docteur Stéven, résidant à Lockport; prévenu de ce désir, le docteur vint de son côté au cabinet télégraphique de Lockport. Le monsieur lui annonça que sa femme était gravement malade, et lui transmit les symptômes caractéristiques de la maladie; le médecin, à son tour, indiqua les remèdes à employer; et tous deux convinrent, si la malade n'allait pas mieux, de se retrouver le lendemain matin aux extrémités de la ligne télégraphique: le mari ne reparut pas, sans doute parce que la consultation avait amené une amélioration subite.

Sous le portique de la nouvelle chambre des communes, en Angleterre, on a disposé un télégraphe électrique qui met en communication les salles séparées des différentes commissions; comme exemple des notifications transmises, nous citerons les suivantes: « La commission est autorisée à siéger jusqu'à neuf heures. Qui en ce moment est à la barre de la chambre? Qui est-ce qui parle? Dans combien de temps la chambre se séparera-t-elle? etc. »

Comme depuis deux jours la pluie ne cessait pas de tomber à Manchester, et que le matin l'averse devint encore plus intense, il régnait parmi les commerçants anglais une vive inquiétude; chacun désirait savoir si le temps était aussi mauvais dans les districts agricoles environnants. On courut donc au bureau du télégraphe électrique; le directeur se prêta de bonne grâce à ce que l'on demandait de lui; il transmit dans les différentes directions la question proposée, et reçut presque instantanément les réponses suivantes: Normanton, beau temps; Derby, temps très dur; York, beau temps; Leeds, beau temps; Nottingham, pas de pluie, mais temps dur et froid; Rugby, pluie; Lincoln, assez beau; Newcastle-Upon Tyne, à midi et demi, beau temps; Scarboroug, midi trois

quarts, beau; Rochdale, une heure, beau. Un coup d'œil jeté sur la carte d'Angleterre, aurait indiqué que le temps était beau dans les principaux districts agricoles, à l'est et au nord de Manchester.

Le professeur américain Espy, très connu par ses recherches sur la théorie des ouragans, propose de rendre ses efforts plus efficaces encore par l'adjonction du télégraphe électrique. Ses recherches antérieures l'ont conduit à penser que par ce moyen on recevrait assez à temps l'annonce de la formation d'une trombe pour qu'on pût prendre quelques mesures préventives utiles.

Le premier message du gouverneur Young à la législature de New-York a été transmis d'Albany à New-York en trois heures. Il contenait 5,000 mots, ou 25,000 lettres; le télégraphe donnait donc réellement 83 lettres par minute, le double de ce qui avait été promis par M. Morse.

Le télégraphe de marine avait signalé l'apparition du steamer le *Cambria*, alors qu'il était encore à 40 milles du port de Boston, et ce navire n'était pas encore entré dans le port, que déjà on avait fait connaître son arrivée à Springfield, à Hartford, à New-Haven, à New-York, à Philadelphie, à Baltimore, à Washington, au moyen du télégraphe électrique.

John Bull, qui ne recule devant aucune idée bizarre, propose de lier entre elles, par un système de télégraphie électrique, les diverses chaires des principales églises d'Angleterre, de telle sorte que le sermon prononcé à Londres ou ailleurs, par un prédicateur célèbre, puisse être reproduit partout instantanément.

On a proposé, en Angleterre et en Amérique, d'unir par un système de communications électro-télégraphiques les différentes casernes de pompiers; les incendies seraient ainsi beaucoup plus efficacement combattus.

APPLICATION DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE A LA DÉTERMINATION DE LA DIFFÉRENCE DES LONGITUDES. — PROJET D'OBSERVATIONS RELATIVES A LA RECHERCHE DES LOIS DES OURAGANS DE L'AMÉRIQUE DU NORD.

(Extrait d'une lettre de M. E. Loomis à M. Sabine.)

New-York, 2 août 1847.

« ... J'ai entrepris depuis quelque temps un travail qui vous inspirera peut-être quelque intérêt, c'est la détermination exacte de la différence de longitude entre Philadelphie et Washington, au moyen du télégraphe magnétique. Le télégraphe magnétique de M. Morse est en activité depuis un temps considérable entre ces deux localités, et M. Bache a proposé de se servir de cette ligne pour la transmission des signaux propres à la comparaison des heures locales dans la triangulation de nos côtes. En conséquence, j'ai fait établir un observatoire temporaire l'an dernier, aussi voisin de la ville que les circonstances l'ont permis, et j'y ai établi un instrument des passages et une horloge. Un fil a été conduit de mon observatoire au bureau du télégraphe, et me mettait ainsi en communication avec la ligne régulière de Philadelphie. Un autre fil a été mené du bureau du télégraphe de Philadelphie à l'observatoire de High-School, et un autre du bureau du télégraphe de Washington à l'Observatoire national. Ainsi, trois observatoires, à New-York, à Philadelphie et à Washington, se trouvaient en communication télégraphique, et après avoir déterminé notre temps local par des observations astronomiques, nous n'avons plus eu besoin que d'un signal qu'on pût saisir simultanément aux trois localités. Ce signal nous a été fourni par un aimant à la manière ordinaire des communications télégraphiques. Notre plan d'opération a été le suivant : à dix heures du soir, lorsque le service ordinaire de la compagnie a été terminé, nos trois observatoires ont été mis en communication l'un avec l'autre, et après que cette communication eut duré un temps suffisant pour avoir la certitude que tout était en bon ordre, New-York a commencé à donner les signaux. Au commencement d'une minute à mon horloge, je touchai la clef de mon registre, et on a entendu simultanément un

coup à New-York, à Philadelphie et à Washington. Les trois observateurs ont noté le temps chacun à leur horloge. Au bout de dix secondes, j'ai répété un semblable signal et on a noté les temps; après dix autres secondes, j'ai renouvelé le signal, et ainsi de suite jusqu'à vingt fois. Après avoir attendu une minute, Philadelphie a répété la même série de signaux, et on a de même noté les temps. Nous avons encore attendu une minute, et Washington a répété les mêmes signaux à son tour. Nous avons donc obtenu ainsi soixante comparaisons de nos horloges qui nous donneront la différence de nos longitudes avec une exactitude aussi grande que celle qui aura été mise dans la détermination du temps local.

» Nous avons, dans notre première expérience, éprouvé un grand nombre de mécomptes très graves, ainsi qu'on aurait dû s'y attendre, par suite de la nouveauté et de la délicatesse de l'entreprise; mais nous avons tout surmonté. Dans *cinq* soirées différentes, nous avons transmis de bons signaux, aller et retour, et nous nous proposons de poursuivre les comparaisons jusqu'à ce qu'on ne puisse plus espérer d'atteindre un plus haut degré d'exactitude. Les erreurs de nos horloges n'ont pas été rigoureusement calculées, et nous n'avons pas encore obtenu de résultat final; mais nous avons déjà fait des comparaisons suffisantes pour apprendre que les résultats des différentes soirées s'accordent d'une manière remarquable les uns avec les autres. Je pense que les différences extrêmes entre les diverses séries d'observations ne s'élèveront guère qu'à une petite fraction de seconde. Il me semble que ce mode pour la détermination des différences de longitude devra remplacer toutes les autres méthodes entre les localités qui seront reliées entre elles par un fil télégraphique. Ces observations peuvent être répétées indéfiniment, et la longitude peut, je crois, être déterminée avec une précision tout au moins égale à celle des temps locaux. Je présume qu'on ne saurait en dire autant des autres méthodes. Je n'ai pas encore appris que ce moyen ait été mis en usage en Europe, quoique l'application se présente d'elle-même; pourriez-vous m'informer s'il y a eu quelque tentative du même genre?

» J'ai eu déjà plusieurs fois l'occasion de signaler l'importance d'un plan combiné dans ce pays pour les observations météorologiques, et je suis heureux de vous apprendre que le projet d'une sem-

blable combinaison est sur le point de se réaliser. M. J. Henry, qui vient d'être placé à la tête de l'institut Smithson, qu'on vient d'organiser, a le projet de faire une grande campagne météorologique qui durera trois années, et de couvrir toute la surface des États-Unis du plus grand nombre possible d'observateurs. Ce projet sera soumis au congrès, mais nous avons besoin en même temps de l'assistance du gouvernement anglais. Vous savez, d'après les documents que je vous ai transmis, que nos grands ouragans se propagent souvent au-delà du nord des États-Unis. Lorsque le centre d'un ouragan voyage le long de la vallée de Saint-Laurent, ses limites s'étendent parfois jusqu'au golfe du Mexique. Les observations faites au Mexique n'embrasseront souvent que la *moitié* seulement d'un violent ouragan d'hiver, et c'est précisément la classe d'ouragans dont on doit attendre le plus de notions précieuses, parce que leurs phénomènes sont plus énergiquement développés. A moins donc que nous n'obtenions des observations simultanées sur les possessions britanniques, au nord de notre pays, nous croirons nos observations privées de la moitié de leur valeur. Il serait à désirer de voir le gouvernement britannique et la compagnie de la baie d'Hudson nous prêter leur appui. Nous proposons qu'à toutes les stations du gouvernement on tienne un registre pendant une période de une, deux ou trois années. Je pense qu'on pourrait avoir ainsi une centaine de stations. Les premiers frais pour les instruments seraient peut-être un peu considérables, mais ceux pour les observations probablement nuls. Si votre gouvernement veut y coopérer, je crois que l'institut Smithson entreprendra l'organisation de ce service aux États-Unis. »

(Trad. du *Philos. mag.*, cah. de novembre 1847.)

APPLICATION DES PRINCIPES DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Moyen de soustraire les pendules astronomiques à l'influence des variations de la température et de la pression atmosphérique, par M. Faye. — L'influence de la chaleur sur la marche des pendules astronomiques a été combattue directement par les dispositions compensatrices; on a su opposer la chaleur à elle-même, et obtenir la régularité, l'uniformité à l'aide de la cause même qui tendait à produire l'effet contraire. Mais la précision que l'artiste a donnée

par cet artifice aux appareils d'horlogerie n'atteint pas encore le but proposé ; les dilatations de plusieurs verges métalliques s'opérant en sens contraire, de façon à la neutraliser à chaque instant dans leurs effets sur la marche du pendule, offrent l'idéal qu'on n'a pas entièrement réalisé ; peut-être qu'en suivant une voie nouvelle on aura plus de chances d'un succès complet.

Au lieu de combattre directement les variations du pendule, M. Faye propose de les supprimer. La nature nous offre en chaque lieu une couche terrestre plus ou moins profonde où ces variations cessent de se produire ; c'est la couche de température invariable située dans nos climats à 25 mètres au-dessous du sol, à quelques pieds seulement sous d'autres latitudes. Une pendule placée dans cette couche de température invariable ne serait plus soumise qu'à deux causes d'erreurs dont une peut être supprimée aisément, comme nous allons l'indiquer, et dont l'autre a déjà été combattue avec succès par les efforts réunis de MM. Laugier et Winnerl.

Supposons une horloge dont le pendule, débarrassé de son appareil compensateur, resterait invariable, parce qu'aucune influence extérieure ne tendrait à produire de dilatation ni de contraction, et voyons si les autres causes d'erreur, toujours agissantes dans les cas ordinaires, ne pourraient pas être supprimées du même coup. On sait que la résistance de l'air ambiant exerce sur les oscillations d'un pendule une action variable suivant la pression atmosphérique. D'après M. Struve, une variation de 1 pouce anglais dans la hauteur de la colonne barométrique produit une variation de 0ˢ,30 dans la marche diurne de l'horloge. Bessel, qui s'est fortement préoccupé de cette cause d'erreur, a montré comment il faut s'y prendre pour y remédier ; il a proposé de mettre dans la tige même du pendule un baromètre étroit dont la cuvette serait placée dans la lentille, vers son centre de gravité. Les variations de pression de l'atmosphère se refléteraient sur celles du niveau du baromètre, et déplaceraient le centre d'oscillation du pendule de certaines petites quantités calculables à l'avance ; les dimensions étant réglées par l'analyse et par des essais convenables, on arriverait ainsi à compenser le pendule pour les variations de pression, à peu près comme on l'a compensé déjà pour celles de température. Mais on voit comment, à chaque cause d'erreur qu'on parvient à combattre, on se trouve con-

damné à introduire une complication nouvelle dans l'appareil primitivement si simple du pendule, et peut-être aussi de nouvelles causes d'erreurs plus complexes, capables d'opposer un obstacle invincible aux progrès ultérieurs.

M. Faye croit que le moyen proposé par lui est plus fécond, car il détruit à la fois, et pour ainsi dire d'un seul coup, les variations de température et de pression atmosphériques. Le pendule étant placé dans la couche de température invariable, il suffit de supprimer toute communication entre l'air intérieur de la boite et l'air ambiant, pour faire disparaître la deuxième cause d'erreur.

Mais comment titrer parti d'une horloge placée sous terre, à une assez grande profondeur, dans une cavité close, où il faut se garder de donner accès aux courants d'air et à l'influence perturbatrice des corps vivants? L'électricité résoudra ce problème : l'horloge type sera l'appareil moteur de signaux télégraphiques que les courants iront porter dans toutes les parties d'un vaste observatoire, avec une précision qui ne restera pas au-dessous des exigences astronomiques. M. Faye avait pensé que les appareils télégraphiques ordinaires, légèrement modifiés, pourraient transporter les signaux de l'horloge-type sur des cadrans vides, où une aiguille marquerait la seconde qu'un petit appareil additionnel très simple, usité dans nos compteurs, aurait été chargé de frapper; M. Foucault lui a signalé plusieurs inconvénients graves de cette solution, et a bien voulu en chercher une meilleure, dont voici les éléments principaux. On profiterait du mouvement oscillatoire de l'axe qui porte la fourchette, pour opérer alternativement la distribution de l'électricité dans deux fils métalliques, lesquels, allant s'enrouler sur deux électro-aimants, les aimanteraient chacun à son tour pendant la durée d'une seconde. Ces électro-aimants, qui devront être très petits, exerceront sur les oscillations une action accélératrice ou retardatrice, suivant que l'horloge subordonnée tendrait à retarder ou à avancer sur la pendule principale.

M. Laugier, tout en avouant que l'emploi de l'électro-aimant peut très bien réussir dans les horloges ordinaires, ainsi que l'expérience l'a prouvé depuis longtemps, croit que son introduction dans les horloges astronomiques soulèverait beaucoup de difficultés. Ainsi, sans parler du mode de transmission et de la nature

de l'action de l'électro-aimant, il est à craindre qu'on n'augmente dans le mécanisme de l'horloge le nombre toujours trop grand des points de contact : ce dernier inconvénient est fort grave ; il a suffi pour faire abandonner, pour les régulateurs astronomiques, le mécanisme du remontoir, l'une des plus précieuses inventions de l'horlogerie.

M. Faye a répondu dans les termes suivants : « Quant à l'agent électro-dynamique qui jouera un rôle essentiel dans la combinaison nouvelle, je n'ai point dissimulé les difficultés inhérentes à son mode d'action et à son application aux horloges ; c'est même pour cette raison que je me suis adressé à une personne habituée à le faire fonctionner sous toutes les formes. D'ailleurs, si l'appareil électro-moteur à courant constant est soustrait lui-même aux variations de la température extérieure, si le fil conducteur est parfaitement isolé, et cela me paraît facile à réaliser dans l'intérieur d'un observatoire ; si l'appareil commutateur surtout est exécuté avec la précision convenable, l'influence nuisible se réduira, pour l'horloge-type, à celle d'un rouage de plus, pour les signaux transmis, à une erreur constante indifférente pour nous ; et la question étant ramenée à ces termes, je ne vois pas qu'on puisse mettre en balance les inconvénients avec les avantages signalés plus haut. »

Nous n'insisterons pas davantage sur cette application, que l'on comprendra facilement, après tous les détails dans lesquels nous sommes déjà entré.

VI. EXPÉRIENCES THÉORIQUES.

Expériences faites sur la ligne de Rouen, par M. Bréguet. — Lettre de M. Bréguet à M. Arago.

« Comme depuis quelque temps on s'occupe beaucoup de la télégraphie électrique, que plusieurs idées, les unes bonnes, les autres fausses, ont été données par quelques journaux, tant sur le mode de propagation du courant que sur le plus ou moins de force nécessaire à la force électro-motrice pour faire fonctionner les appareils à signaux, je crois convenable de mettre les physiciens au courant des expériences que je ne cesse de faire sur la ligne de Rouen, tant dans un intérêt scientifique que dans un but pratique.

» M. Foy, administrateur en chef des lignes télégraphiques, avait pensé que si plusieurs fils étaient disposés entre deux stations, cela aurait l'avantage très précieux dans certains cas de pouvoir transmettre deux dépêches en sens inverse dans le même moment. Cette proposition, que certains précédents nous autorisaient à accepter, fut combattue par quelques personnes.

» Il était donc d'un haut intérêt d'examiner la question de pres. C'est pourquoi, de concert avec M. Gounelle, nous essayâmes de transmettre dans le même moment, sur la ligne de Paris à Rouen, des signaux en sens inverse: les signaux se reproduisaient de part et d'autre avec la plus parfaite exactitude. Cette expérience fut répétée et toujours avec le même succès. Nous la refîmes de nouveau avec les membres de la commission de la Chambre des députés, quand, le 9 avril, elle nous honora de sa visite, et encore une fois la réussite fut aussi complète que précédemment.

» On avait dit que, puisqu'avec le fil de cuivre nous employons dix éléments, il en faudrait huit fois davantage ou quatre-vingts quand nous ferions usage de fil de fer; la personne qui parlait ainsi ne connaissait pas évidemment la question. Guidé par des indications théoriques, je disposai un nouvel appareil, et au lieu de quatre-vingts éléments, nous n'en mîmes que 6, nombre que je puis limiter probablement à quatre. Mais dans ce moment nos expériences sont interrompues par le placement d'un second fil de fer; nous les reprendrons aussitôt que ce travail sera terminé, et j'aurai l'honneur de vous rendre compte de ce que nous ferons de nouveau.

» Je ne veux pas négliger de vous dire que nous avons fait fonctionner un appareil à signaux à travers un circuit métallique de 400 kilomètres, en réunissant convenablement les deux fils de cuivre et le fil de fer déjà placé; le courant provenait de vingt éléments.

» Une autre expérience non moins intéressante est celle où nous avons transmis des signaux de Rouen à Paris avec un seul élément. Ce fait me semble important en ce qu'il me semble répondre victorieusement aux attaques plus ou moins injustes dirigées soit contre le mauvais isolement des conducteurs, soit contre le peu de sensibilité des appareils; car pour qu'un seul couple envoie, au bout d'un conducteur de 137,000 mètres, assez d'électricité pour

faire fonctionner une petite machine, il semble qu'il ne doit pas s'en perdre une très grande quantité dans le trajet, et qu'ainsi on peut dire que l'isolement des conducteurs est bon, et l'instrument passable. »

Nous avons bien de la peine à pardonner à M. Bréguet ce singulier langage. Comment, lui aussi, il méconnait les lois de Ohm et les principes fondamentaux d'une science qu'il applique avec tant de supériorité? Sans doute que s'il fallait dix éléments avec un conducteur en cuivre, il en faudrait soixante-dix ou quatre-vingts avec un conducteur en fer; c'est l'*a b c* de l'art. Mais M. Bréguet a trouvé qu'il lui suffisait avec le fil de fer de six éléments? Nous le croyons : cela prouve uniquement qu'il était absurde d'en employer dix avec le fil de cuivre, alors qu'un seul eût été suffisant. On a dû voir par ce que nous avons dit des lignes de télégraphe électrique en Angleterre, que, pour obtenir des résultats étonnants, il suffisait d'une pile extrêmement faible.

RÉCLAMATION DE M. MORSE.

Appareil destiné à remédier aux effets de l'affaiblissement du courant dans les longues lignes de télégraphie électrique. — Lettre de M. Morse à M. Arago.

« M. Bréguet a imaginé un moyen pour obvier aux effets de l'affaiblissement que peut éprouver le courant par suite d'un long trajet, et obtenir, malgré cet affaiblissement, une force capable de faire impression sur le papier. Sa méthode est précisément celle à laquelle j'ai eu recours, et que j'avais imaginée, dès le principe, pour surmonter une difficulté que je prévoyais. Je veux parler ici de l'emploi que je fais de ma première batterie et de mon premier aimant pour ouvrir et fermer le circuit d'une seconde batterie en rapport avec un second aimant; j'ai recours à ce procédé toutes les fois que, par suite de la longueur du circuit, ma batterie éloignée n'aurait qu'un magnétisme faible, mais suffisant toutefois pour produire un petit mouvement. Par ce moyen, j'obtiens toute la force dont j'ai besoin, puisqu'il suffit pour cela de donner à la batterie et à l'aimant de la seconde série des dimensions suffisantes.

» Dans mon brevet d'invention, pris à Paris en date du 18 août 1838, j'ai indiqué l'emploi de cette seconde série de batteries et d'aimants pour remédier à la perte de force du courant, et j'ai donné la figure de l'appareil. Je désigne l'aimant sur lequel j'agis à distance sous le nom d'*aimant récepteur*, parce qu'il *reçoit* son impulsion de la *batterie principale*, et qu'il sert à établir et à interrompre la communication avec la *batterie locale*, laquelle à son tour agit sur le second aimant, c'est-à-dire sur celui dont le jeu enregistre les dépêches.

» Comme j'avais eu quelque temps l'espoir que mon système de télégraphie pourrait être approuvé par l'Académie des sciences et adopté par le gouvernement français, j'avais apporté à Paris, lorsque j'y allai, en 1845, un des appareils dont je viens de parler, et je le déposai, dans une boîte cachetée, au consulat des États-Unis, afin qu'on pût le montrer au moment où on désirerait le connaître. J'avais laissé à cet égard mes instructions à mon ami, M. Walsh, qui est notre consul à Paris. La boîte est encore entre ses mains. L'appareil qui y est contenu est une modification faite par M. le professeur Page de celui que j'avais construit. Celui-ci, quoique remplissant parfaitement le but, était un peu trop volumineux, j'ai trouvé depuis moyen de le réduire encore. Je ferai remarquer, au reste, que, quoique les fils des hélices de ces aimants récepteurs (fils du n° 30) soient beaucoup plus minces que ceux des conducteurs principaux (fils du n° 25), et quoiqu'un aimant, avec deux hélices de cette espèce, soit interposé à chacune des onze stations de la ligne de New-Yorck à Buffalo, la force magnétique du courant n'éprouvait pas de diminution appréciable dans ce trajet, qui est de 500 milles. »

M. Wheatstone aussi, en 1837, avant MM. Morse et Bréguet, avait eu recours à des piles locales et secondaires.

FIN DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

TABLE ALPHABÉTIQUE

ET RAISONNÉE

DES NOMS DES AUTEURS CITÉS DANS CET OUVRAGE.

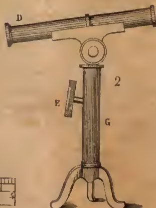
TABLE ANALYTIQUE

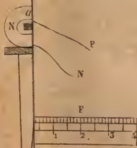
DES

MATIÈRES CONTENUES DANS CET OUVRAGE.



Gauss et Weber
1834.
Ap 4.





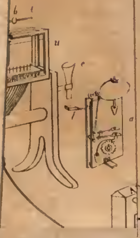
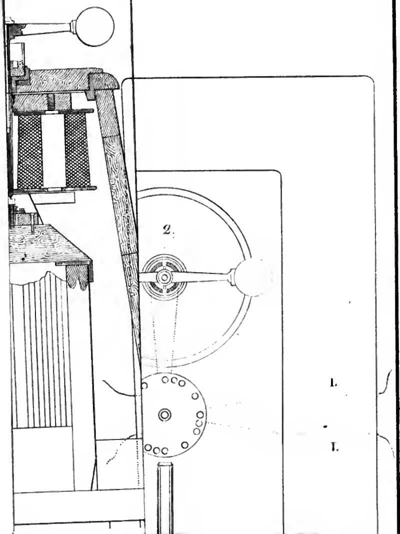








Planche 2



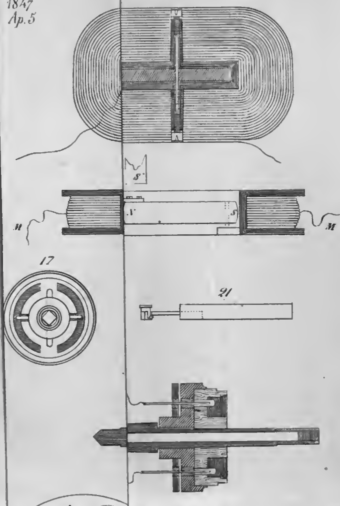
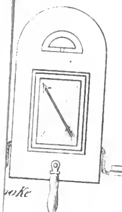
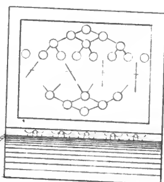

Steinheil,
1847
Ap. 5
S
N
S
M
M
17
21

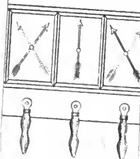
Planche 4





Wheastone et Cooke.

Ap 9.



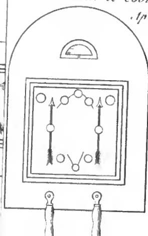
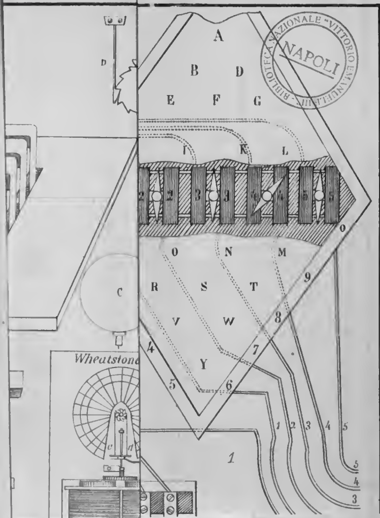
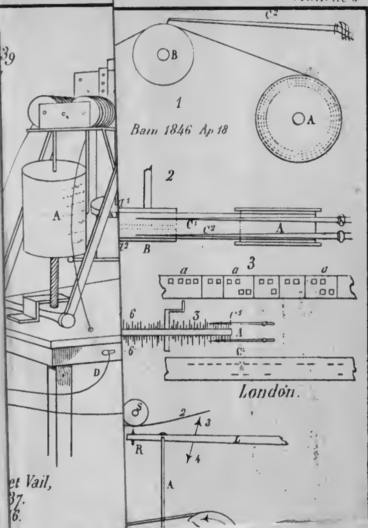
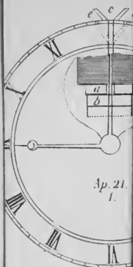


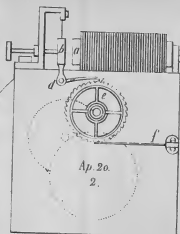
Planche 5



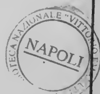

39
A
D
et Vail,
37.
16.
B
1
Bain 1846 Ap 18
A
2
C¹
C²
A
B
3
a
a
a
6
3
6
C
London.
S
2
3
R
4
A

Bain 1841









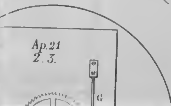


Fig. 4.

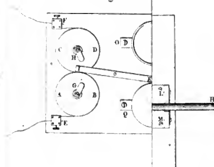
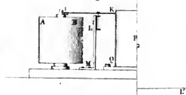


Fig. 5.



g. 2 bis

V'

F

I

G

K

Gravé par E. Wormser

Fig. 2.

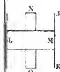
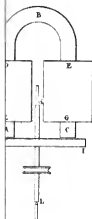
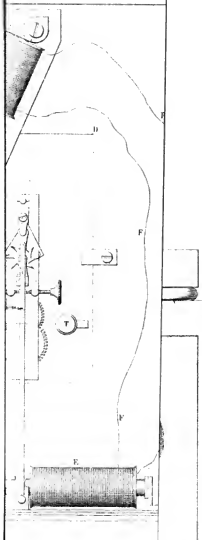


Fig. 7.

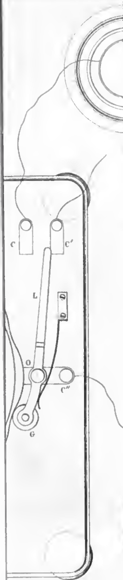




[Gr]avé par E. Wormser


D
D
F
F
F
T
E





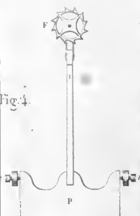


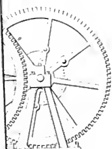
Fig. 4.

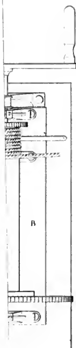
Fig. 3.

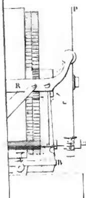




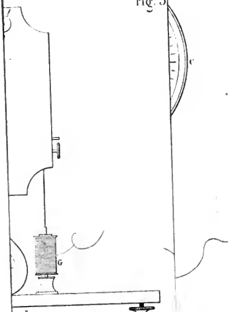
Gravé par E. Wormser

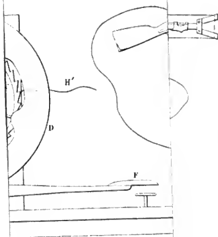

B


D
B
D


P
R
B


BIBLIOTECA VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

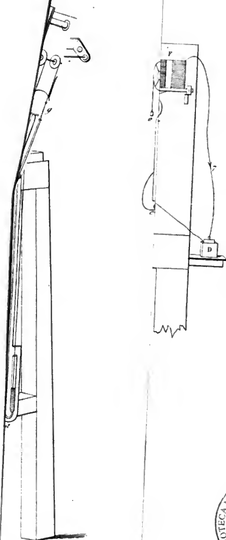

Fig. 3
C
G


H'
D
F



Gravé par F. Bornet







Gravé par E. Wormser

HIE ÉLECTRIQUE DE M

